

“AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO”

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



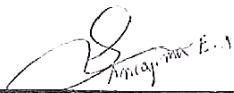
Dendrocronología de *Prosopis* sp. en la región Piura

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
BIÓLOGO**

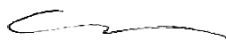
Br. ANCAJIMA MORE EDWIN ALBERTO.

PIURA - PERÚ

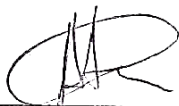
2017




Br EDWIN ALBERTO ANCAJIMA MORE.
EJECUTOR DE TESIS



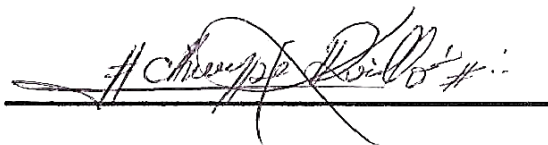
Blgo. RONALD WILMER MARCIAL RAMOS, M.Sc
ASESOR DE TESIS



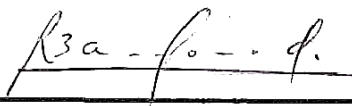
Blgo. NESTOR ATARAMA MONTERO.
COASESOR DE TESIS



Dr. ROBERTO MENDOZA RENDÓN
PRESIDENTE DEL JURADO



Dr. JESÚS MANUEL CHARCAPE RAVELO
SECRETARIO DEL JURADO



Blgo. ROBERT BARRIONUEVO GARCÍA, M.Sc
VOCAL DEL JURADO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE CIENCIAS



ACTA DE SUSTENTACIÓN 047-2017-FC-UNP

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada “**DENDROCRONOLOGÍA DE *prosopis sp.* EN LA REGIÓN PIURA**” presentada por el señor Bachiller **EDWIN ALBERTO ANCAJIMA MORE**, con el asesoramiento del **Blgo. Ronald Wilmer Marcial Ramos, M.Sc.**; oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, lo declaran:

APROBADO (X)

DESAPROBADO ()

Con la mención de:


BUENO

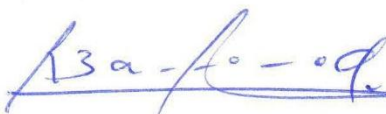
(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TITULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO**.

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TITULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO**; después que el sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.

Piura, 23 de junio del 2017.


Dr. ROBERTO MENDOZA RENDÓN
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS


Dr. JESÚS MANUEL CHARCARE RAVELO
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS


Blgo. ROBERT BARRIONUEVO GARCÍA, M.Sc.
VOCAL DE JURADO DE TESIS

DEDICATORIA

A Dios padre, por permitirme llegar a este momento especial en mi vida y por darme la bendición para afrontar cada día

A mis queridos y adorados padres Leonor More Fernández y Luis Ancajima Quevedo, por su sacrificio y comprensión a lo largo de toda mi vida. Por sus valiosos consejos y por la incondicional confianza y paciencia brindada.

AGRADECIMIENTOS

AL Blgo. Pablo Salazar Zarzosa, al Ing. Rodolfo Rodríguez Arismendiz, y al Blgo. Néstor Atarama Montero, por la confianza brindada para el desarrollo de este proyecto, por el apoyo y asesoramiento para ser un mejor profesional.

A mi asesor el Blgo. Ronald Marcial Ramos M. Sc. por darme la confianza y la oportunidad de asesorarme y guiarme en la realización de esta tesis.

Al Dr. Antonio Mabres Torrello, vicerrector de investigación de la Universidad de Piura y coordinador general del proyecto, por la confianza brindada para pertenecer al equipo investigador.

Al Dr. Gastón Cruz, por el apoyo científico y logístico para llevar a cabo los experimentos relacionados con esta investigación.

A la Dr. María Mercedes Henríquez por su constante asesoramiento para mejorar la redacción de esta investigación.

A mis buenas amigas Elva Palacios y Evelin Ortiz, por su alegría y colaboración siendo parte del equipo de dendrocronología.

Al proyecto “Estudio de parámetros biológicos en *Prosopis* sp. como un registro paleoclimático: Fundamentos y uso de nuevos métodos de medición dendrocronológica” (404-PNICP-PIBA-2014) financiado por el “Programa Nacional de Innovación para la Competitividad” por su apoyo en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
2.1.Área de estudio.....	6
2.1.1. Ubicación del área de estudio.....	6
2.1.2. Características del área de estudio	6
2.1.3. Selección de puntos de muestreo.....	7
2.2.Selección y corte de los individuos de muestreo	9
2.2.1. Método de muestreo	9
2.2.2. Obtención de las muestras	9
2.3.Preparación de las muestras.....	10
2.3.1. Preparación de las muestras colectadas	10
2.3.2. Pulido de las secciones	10
2.4.Identificación de anillos de crecimiento	12
2.4.1. Reconocimiento, Marcado y conteo de anillos	12
2.4.2. Reconocimiento y marcado de anillos de referencia	14
2.5.Procesamiento digital.....	14
2.5.1. Escaneo de las secciones	14
2.5.2. Ajuste de la imagen.....	15
2.6.Toma de datos dendrocronológicos	15
2.6.1. Medición de anillos de crecimiento.....	15
2.6.2. Obtención de colecciones poblacionales y cofechado de secuencias	17
2.6.3. Desarrollo de la cronología (Índice de ancho de anillos).....	19
2.7.Relación entre clima y el crecimiento radial	21
2.8.Comparación en el crecimiento radial de las poblaciones.....	21
III. RESULTADOS	22
3.1.Colecciones poblacionales de <i>P. pallida</i>	22
3.1.1. Colección de Ignacio Távara.....	22
3.1.2. Colección de Piura:.....	24

3.1.3. Colección de La Rinconada:	26
3.2. Interacción entre clima local y el crecimiento radial de la madera de <i>P. pallida</i>	29
3.3. Respuesta de las poblaciones a los ENSO.....	31
3.4. Crecimiento radial de las diferentes poblaciones.....	34
IV. DISCUSIÓN	36
V. CONCLUSIONES.....	42
VI. RECOMENDACIONES.....	43
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
VIII. ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Características de los anillos de crecimiento en series individuales de Ignacio Távara	23
Tabla 02: Características de los anillos de crecimiento en series individuales de Piura	25
Tabla 03: Características de los anillos de crecimiento en series individuales de La Rinconada	27
Tabla 04: Características de las cronologías de los anillos de los árboles de las poblaciones para el período común.	28
Tabla 05: Coeficiente de correlación de Pearson entre el índice de crecimiento de los árboles de cada población y los índices medios de temperatura superficial del mar de las áreas geográficas Niño 1 + 2 y Niño 3.4.....	32
Tabla 06: Radios empleados y descartados en la elaboración de la colección en Ignacio Távara	51
Tabla 07: Radios empleados y descartados en la elaboración de la colección en La Rinconada	52
Tabla 08: Radios empleados y descartados en la elaboración de la colección en Piura	53
Tabla 09: Radios seleccionados para formar la colección de Ignacio Távara	55
Tabla 10: Radios seleccionados para formar la colección de La Rinconada	55
Tabla 11: Radios seleccionados para formar la colección de Piura	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Mapa de la región Piura y la ubicación de las zonas de estudio.....	7
Figura 02: Bosque seco de La Rinconada.....	8
Figura 03: Bosque seco de Piura.....	8
Figura 04: Bosque seco de Ignacio Távara.....	9
Figura 05: lijas para amoladora.....	11
Figura 06: pulidora orbital (izquierda), lija de grano N° 120 (derecha).....	11
Figura 07: lijas de grano N° 600, 800 Y 1000.....	12
Figura 08: a) radio trazado con lápiz, b) límite de Anillos de crecimiento, c) anillo de crecimiento.....	13
Figura 09: Sección de tronco con radios trazados.....	13
Figura 10: lámina graduada (arriba), anillo de crecimiento de 1 mm de ancho (abajo).....	14
Figura 11. Calibración de medida.....	16
Figura 12: Anillos marcados.....	17
Figura 13: Cronología de índice de ancho de anillos de Ignacio Távara. Línea delgada representa el índice de ancho de anillos. Línea gruesa representa la tendencia en el crecimiento. Fondo gris es el número de radios solapados durante cada año.....	24
Figura 14: Cronología de índice de ancho de anillos de Piura. Línea delgada representa el índice de ancho de anillos. Línea gruesa representa la tendencia en el crecimiento. Fondo gris es el número de radios solapados durante cada año.....	26
Figura 15: Cronología de índice de ancho de anillos de La Rinconada. Línea delgada representa el índice de ancho de anillos. Línea gruesa representa la tendencia en el crecimiento. Fondo gris es el número de radios solapados durante cada año.....	28
Figura 16: correlación del índice de ancho de anillos con la temperatura y precipitación mensual desde setiembre del año anterior hasta agosto del año en que se forman los anillos.....	30
Figure 17. Correlación de la temperatura media mensual del mar en la región Niño 1+2 con la cronología del índice de ancho de anillos de <i>P. pallida</i> en cada población. * p<0.05.....	33
Figura 18: incremento en el área basal (mm ²) de las poblaciones de Algarrobo a lo largo del tiempo. Líneas verticales indican fenómenos del Niño registrados.....	35
Figura 19: Esquema para la toma de muestras	50

Figura 20: Colección final de Ignacio Távara. Puntos azules indican anillos agregados y los rojos indican anillos eliminados. Líneas verticales representan fenómenos del Niño registrados.....	57
Figura 21: Colección final de Piura. Puntos azules indican anillos agregados y los rojos indican anillos eliminados. Líneas verticales representan fenómenos del Niño registrado.....	58
Figura 22: Colección final de La Rinconada. Puntos azules indican anillos agregados y los rojos indican anillos eliminados. Líneas verticales representan fenómenos del Niño registrados.....	59

RESUMEN

Prosopis pallida (algarrobo) es la especie dominante del bosque seco de la costa norte del Perú. Es de gran importancia ambiental y económica, sin embargo, su aporte en estudios dendrocronológicos es escaso. Así, en esta investigación se empleó la dendrocronología para estudiar el crecimiento de la madera de *Prosopis pallida* a través del tiempo. Se cortaron y pulieron secciones transversales de madera de algarrobo de los bosques de Ignacio Távara, Piura y Rinconada. Los anillos de crecimiento fueron medidos y las series resultantes fueron cofechadas empleando el software CooRecorder y Cdendro. Asimismo, con el programa R Studio se obtuvo la cronología de índice de ancho de anillos y el incremento del área basal de cada población. El índice de ancho de anillos se relacionó con el promedio mensual de la Temperatura local, la precipitación mensual local y la temperatura estacional de la superficie de mar de la zona niño 1+2 y 3.4. La respuesta al clima fue diferente en cada población. El crecimiento en Ignacio Távara y Piura se relacionó positivamente con la precipitación de enero y con la temperatura de octubre, además, la relación fue significativa con la temperatura superficial del mar de la zona niño 1+2 durante agosto-setiembre del año anterior en ambas poblaciones y febrero-marzo del año actual solo en Ignacio Távara. Estas relaciones revelan el impacto del Evento El Niño en el crecimiento de las tres poblaciones, sin embargo las poblaciones marginales son más sensibles a las condiciones climáticas.

Palabras Clave: Bosque seco, algarrobo, variables ambientales, anillos de crecimiento, Evento El Niño.

ABSTRACT

Prosopis pallida (algarrobo) is the dominant species of the dry forest of the North Peruvian coast. It has a high environmental and economic importance; however, its contribution to the dendrochronological studies is scarce. Thus, in this investigation, dendrochronology was used to study the wood growth of *Prosopis pallida* through time. Tree sections of "algarrobo" populations from Ignacio Távora, Piura and Rinconada were cut and polished. The tree-rings were measured and the resulting series were crossdating using the software CooRecorder and Cdendro. The program R Studio was used to obtain the chronology of tree-ring width index and the increase in the basal area of each population. The tree-ring width index was associated with the local monthly temperature and precipitation, and the seasonal sea surface temperature in the Niño 1+2 and 3.4 regions. The response to the climate was different in each location. The growth in Ignacio Távora and Piura was positively correlated with the precipitation of January and with the temperature of October, in addition, the relationship was significantly associated with the sea surface temperature of Niño 1+2 regions during August-September of the previous year in both populations and february-March of the current year only in Ignacio Távora. These relationships reveal the impact of the ENSO in the growth of the three populations, however marginal populations are more sensitive to climatic conditions.

Keywords: Dry forest, algarrobo, environmental variables, growth rings, ENSO.

INTRODUCCIÓN

En las regiones semiáridas del norte de Perú, el crecimiento de los árboles está favorecido por el incremento de las precipitaciones. Este aumento en el crecimiento se intensifica aún más, con la presencia de precipitaciones intensas generadas por procesos climáticos como los del Fenómeno El Niño (López, Sabaté, Gracia & Rodríguez, 2005). Por consiguiente, las poblaciones boscosas de algarrobo se regeneran principalmente a partir de la presencia estacional del Fenómeno El Niño (Champin, 2002; Holmgren et al., 2006). Las variaciones de las condiciones medioambientales de los ecosistemas, se registran en la estructura de los anillos de crecimiento de la madera de los árboles, y la ciencia dedicada a aprovechar esta información para deducir y estudiar estas variaciones es la dendrocronología (Rodríguez & Fernández, 2009).

Durante muchos años, los estudios dendrocronológicos se enfocaron en especies de zonas templadas y de altas latitudes, donde la marcada estacionalidad permite la formación anual de anillos de crecimiento, debido a las diferencias en el crecimiento celular durante la etapa temprana y tardía de la madera de los árboles de muchas especies. Por el contrario, las especies de regiones tropicales no tuvieron el mismo impacto. Esta escasez se debía principalmente a la baja disponibilidad de árboles con la capacidad de formar anillos de crecimiento claramente distinguibles, debido a la aparente falta de un patrón anual (Roig, 2000). Sin embargo durante los últimos años, las investigaciones en estas regiones han aumentado considerablemente, especialmente en ciertas regiones áridas y semiáridas de los trópicos, donde los patrones ambientales, especialmente los relacionados con la precipitación, son cíclicos y pueden reflejarse por la presencia de anillos de crecimiento (López et al., 2005).

Los avances en dendrocronología tropical estuvieron ligados a una correcta identificación de la formación de la madera. La anatomía de un anillo de crecimiento está formado por una capa de diferentes tipos de células del xilema, originadas durante un año de crecimiento, con características particulares en la estructura y funcionamiento del anillo. Esta capa se observa en una sección transversal como una banda radial. En la madera de especies tropicales, la delimitación de los anillos de crecimiento puede generarse por diferentes condiciones, tales como la disposición de los vasos conductores, la presencia de bandas oscuras, y en particular, a la formación de parénquima terminal con distintos arreglos (López, 2011) .

En los ecosistemas áridos y semiáridos del mundo, el algarrobo es una de las especies fundamentales por sus beneficios económicos y ecológicos. Existen 44 especies registradas del género *Prosopis* L. emend. Burkart (Leguminosae, Mimosoideae). La mayor distribución del género está localizada en América, con 40 especies registradas, habitando principalmente ecosistemas secos y áridos. Sin embargo, también habitan zonas áridas y semiáridas de Asia y África. Las especies son árboles y arbustos normalmente xerófilos y espinosos (Burkart, 1920; Palacios et al., 2012).

La mayoría de las especies del género *Prosopis* presentan anillos visibles o parcialmente demarcados. Su delimitación, generalmente está dada por la presencia de parénquima terminal y de vasos de mayor diámetro al inicio de su formación. Sin embargo, la identificación de anillos de crecimiento en especies, registradas en Argentina, presenta grandes diferencias entre las especies de este género. Esta variabilidad puede estar presente en individuos de la misma especie y aún en diferentes partes del fuste del mismo individuo, reflejando la enorme adaptabilidad a diferentes condiciones de crecimiento, presentes en el ambiente donde se someten. Por otra parte, se ha demostrado el carácter anual en el crecimiento de los anillos de crecimiento en

especies de *Prosopis* mediante estudios de cronologías de árboles de edad conocida y a través de la actividad del cambium. En consecuencia, la madera de muchas especies de *Prosopis* tienen un enorme potencial dendrocronológico para reconstruir las condiciones climáticas que se dieron en el pasado y la ecología de las masas boscosas (Villalba, Villagra, Boninsegna, Morales & Moyano, 2000).

De las evidencias anteriores, el crecimiento radial de *P. ferox*, está fuertemente controlado por las condiciones climáticas del verano; siendo una especie muy promisoría para estudios dendrocronológicos (Morales et al., 2001). Asimismo, Giantomasi, Juñent, Villagra, y Srur (2009), determinaron que la anchura de los anillos, el número de vasos y el área total de los vasos de *P. flexuosa* están influidos positivamente por las precipitaciones regionales correspondientes al período de noviembre a diciembre. Por consiguiente, demostraron la influencia del clima sobre la formación y anatomía de los anillos de crecimiento de *P. flexuosa*.

Por su parte, Villagra, Boninsegna, Alvarez, Cony, Cesca y Villalba (2005) estudiaron la estructura y productividad de los bosques de *P. flexuosa* a través de un gradiente latitudinal, determinando que la estructura y la productividad de estos bosques tienden a disminuir a lo largo del gradiente latitudinal. Por lo tanto, concluyeron que las diferentes condiciones ambientales a lo largo de este gradiente generan crecimientos diferentes en los bosques. El empleo de los anillos de crecimiento de las plantas leñosas permite cuantificar de forma precisa la velocidad del crecimiento radial de los árboles en diferentes ambientes naturales, así como determinar diferencias en las estructuras poblacionales del bosque en relación a factores tales como el suelo, los disturbios y el clima (Villalba et al., 2000).

En el Perú, entre los recursos forestales sobresale la presencia de *P. pallida* “algarrobo”. Esta especie es nativa de las zonas costeras áridas de Perú, Ecuador y Colombia (Burkart, 1920). Es

la especie dominante en la costa norte, debido a la resistencia a condiciones adversas como la sequía y capaz de crecer en lugares donde pocas especies pueden sobrevivir. Su importancia local se basa en los servicios ambientales que provee.

Las investigaciones recientes en la costa norte permiten afirmar que *P. pallida* desarrolla anualmente anillos de crecimiento visibles cuyo tamaño es controlado por las variaciones estacionales en las condiciones climáticas (Ghezzi & Rodríguez, 2015). Se ha obtenido series dendrocronológicas a partir de la medición del ancho del anillado de muestras de madera de palo santo y algarrobo de bosques secos de la costa norte del Perú. Las series obtenidas muestran una clara respuesta de estas especies a las precipitaciones, reflejado en el ancho del anillo generado especialmente cuando ocurre un evento el niño (Rodríguez & Fernández, 2009).

La importancia de estudiar la dendrocronología en zonas tropicales como Perú, radica especialmente en la detección de eventos climáticos fuertes como El Niño. Siendo el algarrobo una de las especies dominantes de los bosques de la región Piura, de prolongada longevidad, con una madera muy densa y resistente, el estudio de sus anillos de crecimiento es fundamental para temas ecológicos, medioambientales e históricos. Obteniendo una cronología en base al ancho de los anillos de *Prosopis pallida*, se pueden hacer estudios sobre la estructura de edad, dinámica de los bosques, tratamientos silvícolas y estudios sobre plagas, temas de gran impacto en los bosques secos de la región. Además, la dendrocronología con esta especie puede aportar datos para los registros de uso de la madera de algarrobo en complejos arqueológicos de Perú, ya que la elaboración de cronologías con madera arqueológica puede proporcionar información valiosa y necesaria para reconstrucciones dendroarqueológicas, tales como eventos climáticos del pasado en los ecosistemas áridos de la costa norte peruana, áreas donde esta especie puede ser la única fuente de información paleoclimática. Por todo lo antes expuesto, este trabajo tuvo

como objetivo emplear la dendrocronología para estudiar el crecimiento de la madera a través del tiempo en *Prosopis pallida*. Lo que permite (1) generar series dendrocronológicas locales en base a los anillos de crecimiento de las poblaciones forestales de la región, (2) estudiar la relación de la temperatura y la precipitación en el crecimiento radial y (3) determinar diferencias en el crecimiento radial entre las poblaciones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

2.1.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en la región Piura, ubicada en la parte noroeste de la Costa norte del Perú unos 4° 4' 50" por debajo de ésta (Figura 01). Limita con Tumbes y el Ecuador por el norte, con Lambayeque por el sur, con Cajamarca por el este y con el Océano Pacífico por el oeste.

2.1.2. Características del área de estudio

El clima en la región Piura es desértico y semidesértico en la costa y vertientes andinas occidentales, y sub tropical en sus vertientes orientales. Las temperaturas máximas (entre febrero y marzo) en la costa usualmente están entre 34°C (llegando incluso hasta 40°) y en la zona alta 27°C, mientras que las mínimas (junio-setiembre) promedian 15°C en la costa y en la parte andina bajan hasta 8°C. Las precipitaciones son estacionales, ocurren de diciembre hasta abril marcando una estación húmeda bien definida. El resto del año el clima de la región es considerado seco. Las precipitaciones varían de acuerdo a un gradiente altitudinal, siendo más intensas en los andes piuranos. Entre los 100 y 500 m.s.n.m. oscila entre los 10 y 200 mm; entre los 500 y 1 500 m.s.n.m., llegan a estar entre los 200 y 800 mm y sobre los 1 500 m.s.n.m. el promedio de precipitaciones pluviales es de 1 550 mm. Sin embargo, estas características climáticas son modificadas durante la presencia del fenómeno El Niño que ocasiona lluvias torrenciales (mayores de 50 mm/hora) y acumula precipitaciones superiores a los 2,000 mm en las cuencas altas y medias (Portocarrero, Pizarro, Alzamora, More & Gallo, 2012).

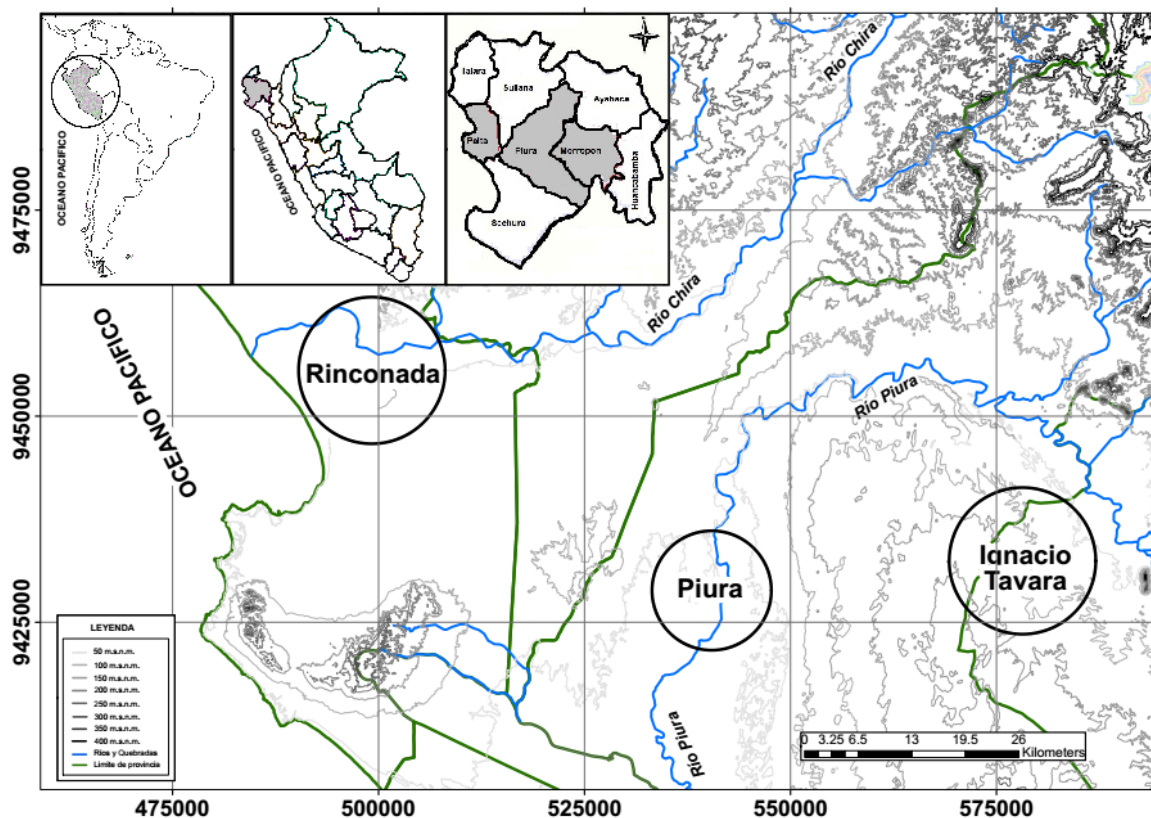


Figura 01: Mapa de la región Piura y la ubicación de las áreas de estudio.

2.1.3. Selección de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo fueron elegidos por tener una comprobada alta densidad forestal, troncos erguidos, elevado diámetro basal e importancia regional. Esto se determinó por muestreos preliminares en estos lugares (Figura 01). Los lugares elegidos para la recolección de muestras fueron los siguientes:

- **La Rinconada:** se encuentra en la provincia de Paita cerca de Sullana en el departamento de Piura. Geográficamente sus coordenadas son $4^{\circ}54'30''$ S y $81^{\circ}01'22''$ O. Presenta un bosque seco cercano al río Chira en las coordenadas $4^{\circ}54'18''$ S y $81^{\circ}00'59''$ O (Figura 02).



Figura 02: Bosque seco de La Rinconada

- **Piura:** los individuos seleccionados para el estudio fueron del bosque seco del campus de la universidad de Piura con coordenadas $5^{\circ}10'22''$ S y $80^{\circ}38'29''$ O (figura 03). Los datos climáticos de la estación local durante los últimos 30 años indicaron una temperatura media anual de 24° C y una precipitación media de 61mm (Padrón & Navarro, 2004).



Figura 03: Bosque seco de Piura

- **Ignacio Távara:** La Comunidad se localiza en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, en la parte central de la Región (figura 04). Presenta precipitaciones pluviales generalmente en los cuatro primeros meses del año. La precipitación anual varía entre 150 y 250 mm. La temperatura media anual es de 24°C. Las muestras se colectaron en las coordenadas 5°08'08" S y 80°18'13" O.

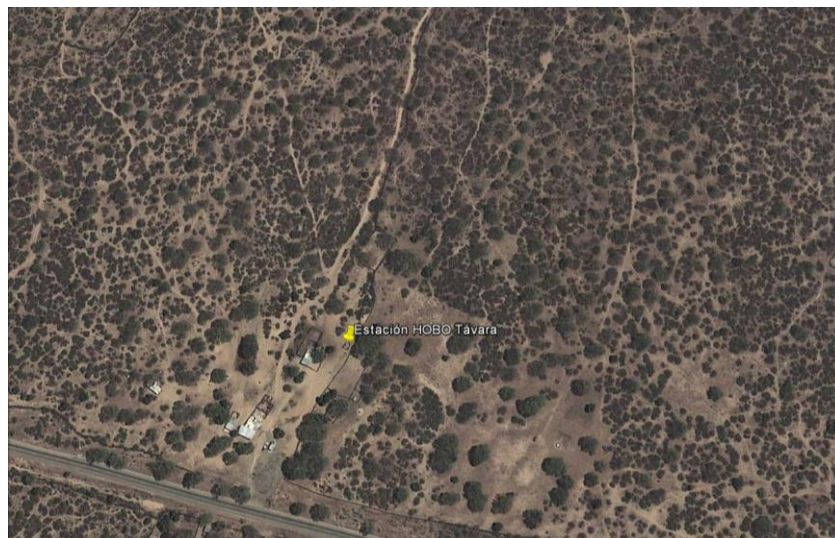


Figura 04: Bosque seco de Ignacio Távara

2.2. Selección y corte de los individuos de muestreo

2.2.1. Método de muestreo

Las muestras se colectaron empleando un diseño de muestreo preferencial, haciendo una búsqueda intensiva de los individuos. Se seleccionaron arboles con fuste recto y entre 40 a 50 cm de diámetro (DAP)

2.2.2. Obtención de las muestras

Con la aprobación de SERFOR y las comunidades rurales cercanas, se seleccionaron 10 ejemplares de *Prosopis pallida* en el bosque seco de Ignacio Távara, 10 en La Rinconada y 14 individuos en el bosque de Piura. Los árboles seleccionados fueron cortados con una motosierra

marca ECHO, desde la base hasta la altura del pecho (1,30 m aproximadamente). Las muestras obtenidas fueron de aproximadamente 100 cm de largo. Posteriormente con la motosierra se obtuvieron, de cada muestra, dos secciones de 5 cm de grosor (figura 19, en anexos).

Las muestras y las secciones fueron rotuladas para su posterior identificación. Finalmente se trasladaron al Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Piura (UDEP) para los respectivos análisis.

2.3. Preparación de las muestras

2.3.1. Preparación de las muestras colectadas

Se aplicó goma soluble en las fisuras de las secciones, ocasionadas por el corte con motosierra y la rápida pérdida de humedad, para prevenir la ruptura de la muestra durante el pulido. También se colocó goma y cinta adhesiva en el perímetro de la sección para evitar el desprendimiento de la corteza.

2.3.2. Pulido de las secciones

Para obtener el acabado adecuado de las muestras se usaron lijas de diferentes granos, empezando con la de grano más grueso y terminando con la de grano más fino.

El desbaste primario se realizó con una Amoladora angular eléctrica BOSCH GWS 7-115 ET, empleando lijas de diferente grano: N° 24, N° 60 y N° 100 (figura 05).



Figura 05: lijas para amoladora

Luego se usó una pulidora orbital eléctrica BOSCH GEX 125-150 AVE no estacionaria empleando la lija de grano N° 120, en intervalos de 30 minutos (figura 06).



Figura 06: pulidora orbital (izquierda), lija de grano N° 120 (derecha)

El pulido final se realizó con una pulidora manual empleando lijas en el siguiente orden: N° 240, N° 400, N° 600, N° 800, N° 1000, N° 1500, N° 2000 y N° 2500 (figura 07).

Este proceso se realizó tomando las medidas de seguridad necesarias (guantes y mascarillas de protección).

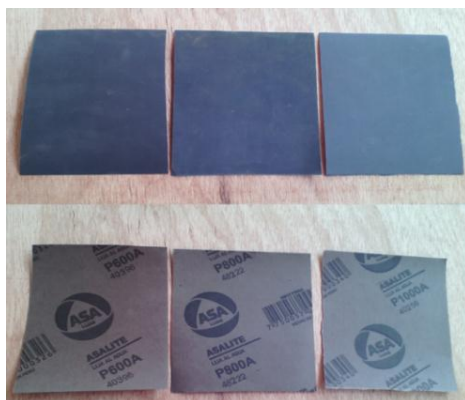


Figura 07: lijas de grano N° 600, 800 Y 1000

2.4. Identificación de anillos de crecimiento

2.4.1. Reconocimiento, Marcado y conteo de anillos

En cada sección se trazó dos o más radios. Cada uno de ellos se visualizó en un estereoscopio Zeiss, modelo Stemi 2000-C y se marcó con lápiz el límite de los anillos de crecimiento siguiendo la trayectoria del radio seleccionado, para su posterior conteo y medición (figura 08 y 09).

El conteo de los anillos se hizo desde el anillo más joven, ubicado después de la corteza, hasta el más antiguo, cercano a la médula.

Además de su identificación, se siguió la trayectoria de los anillos de crecimiento entre radios de la misma sección. El propósito de marcar varios radios en una sección es evitar errores al momento de definir anillos de crecimiento, descartando anillos falsos y ausentes, muy comunes en árboles tropicales.

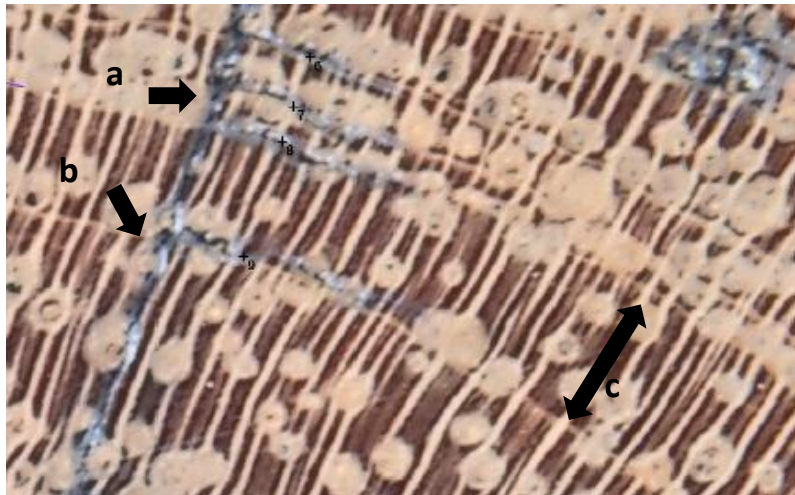


Figura 08: sección transversal de algarrobo vista en el estereoscopio, a) radio trazado con lápiz, b) límite de Anillos de crecimiento, c) anillo de crecimiento

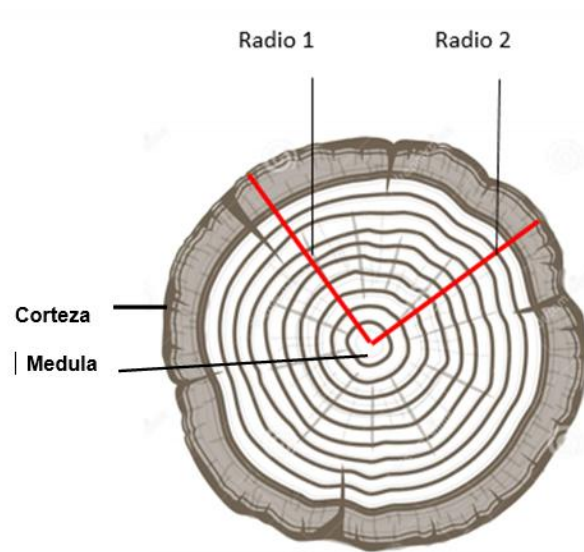


Figura 09: Sección de tronco con radios trazados

2.4.2. Reconocimiento y marcado de anillos de referencia

En cada radio se identificó un anillo de crecimiento de 1mm de ancho. La medida del anillo se estableció con una lámina graduada en el centro con una regla de 1 mm (figura 10). El anillo seleccionado se empleó posteriormente para calibrar la medida de los píxeles en el programa CooRecorder 7.8.1-Cybis elektronik & data AB-2014.



Figura 10: lámina graduada (arriba), anillo de crecimiento de 1 mm de ancho vista al estereoscopio (abajo)

2.5. Procesamiento digital

2.5.1. Escaneo de las secciones

Durante el escaneo de secciones se empleó el Escaner Microtek ArtixScan 3200 XL de resolución de 3200 DPI (puntos por pulgada). La imagen de alta resolución permitió visualizar los anillos de crecimiento de manera más efectiva.

2.5.2. Ajuste de la imagen

La imagen obtenida se cargó en el programa Adobe Photoshop Elements 10-Adobe Systems Incorporated-2011. El Adobe Photoshop es un programa informático utilizado para organizar, editar y crear imágenes. En dendrocronología se utiliza para modificar la visualización de las imágenes, (claridad, contraste y brillo) y aumentar la visibilidad de los anillos de crecimiento.

Se recortó la imagen empleando la herramienta lazo poligonal, seleccionando el área que se desea medir y siguiendo la trayectoria de los radios. La finalidad de recortar cada radio fue disminuir el peso inicial de la imagen. El tamaño aproximado de la imagen recortada fue de 200 MB.

Posteriormente, la imagen recortada se amplió en la zona correspondiente a la albura y el duramen para el ajuste respectivo con la finalidad de poder observar mejor los anillos de crecimiento.

Para mejorar la visualización de los anillos de crecimiento se seleccionaron las herramientas "Mejora" y "Ajustar iluminación", El ajuste de la imagen se realizó en el siguiente orden: brillo, contraste y niveles. Estos ajustes, permiten modificar las características básicas de una imagen por su capacidad de "limpiar" y preparar las imágenes para una medición dendrocronológica.

Los cambios en la calidad de la imagen de cada radio se guardaron en formato TIF

2.6. Toma de datos dendrocronológicos

2.6.1. Medición de anillos de crecimiento

La imagen mejorada se cargó en el programa CooRecorder 7.8.1-Cybis elektronik & data AB-2014. CooRecorder es un programa informático que utiliza imágenes digitales de muestras

dendrocronológicas para la medición de anillos de crecimiento. Las dataciones son almacenadas y pueden ser reproducidas, verificadas y corregidas. Los archivos generados pueden tener diferentes extensiones comúnmente usadas en dendrocronología.

Al cargar la imagen, CooRecorder identifica las propiedades del archivo y sugiere el DPI adecuado para calibrar la imagen (Figura 11).

Para la calibración se aumentó el tamaño de la imagen ubicando el anillo de referencia de 1 mm de ancho marcado con el estereoscopio, estableciendo una escala de medida de milímetros por pixeles, con la opción “Calibrate”.

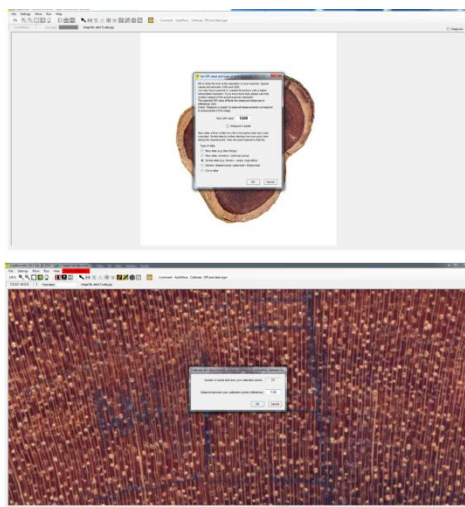


Figura 11. Calibración de medida.

La medición del grosor de anillos se realizó siempre paralela al parénquima radial y perpendicular al borde del anillo, desde el más cercano a la corteza hacia la médula, siguiendo la trayectoria del radio trazado con lápiz. Para esto se empleó la herramienta “Datos” (D). Al emplear esta herramienta se registran las coordenadas de ubicación del anillo (Figura 12).

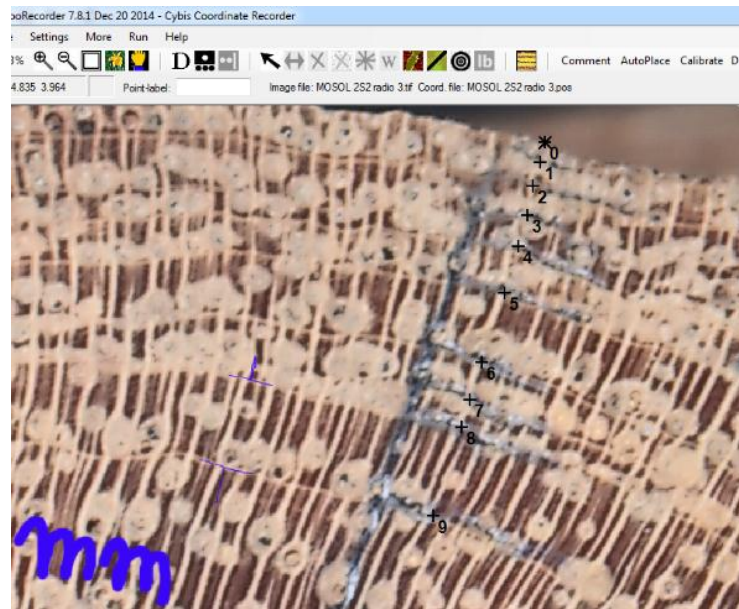


Figura 12: medida de los anillos de crecimiento marcados.

Finalmente la imagen y los datos procesados se guardaron en formato de coordenadas (.pos); y luego en forma de grosores de anillo (formato .wid) con el programa CDendro 7.8.1-Cybis elektronik & data AB-2014.

2.6.2. Obtención de colecciones poblacionales y cofechado de secuencias

Las series individuales de crecimiento, obtenidas al medir el ancho de los anillos de crecimiento, fueron cofechadas usando el software CDendro 7.8.1-Cybis elektronik & data AB-2014, con la finalidad de obtener las colecciones poblacionales.

Para formar las colecciones poblacionales, se cargaron todas las series individuales de crecimiento de una misma población, guardadas en formato “.wid”.

Las series individuales de crecimiento se solaparon considerando la alineación de los picos más pronunciados, el offset y un coeficiente de correlación mayor a 0.3.

Como las secciones son contemporáneas, las series se solaparon alineando el crecimiento más pronunciado. La ubicación de los picos altos indica condiciones favorables de crecimiento anormales, posiblemente eventos El Niño.

Además de encajar los periodos de altas precipitaciones, las series de crecimiento se solaparon considerando el “offset” (distancia en años entre el ultimo anillo de dos muestras) establecido al hacer el seguimiento de los anillos de crecimiento entre radios de una misma sección.

Asimismo, se descartaron radios en cada localidad por presentar coeficientes de correlación demasiado bajos respecto de la colección. En las secciones de Ignacio Távara (Tabla 06, en anexos), se midió un total de 29 radios y se descartaron 15. En Rinconada (tabla 07, Anexos), se descartaron 25 de 35 radios medidos; y en las secciones provenientes de Piura (tabla 08, Anexos), se descartaron 36 de 47 radios

Para mejorar los coeficientes de correlación en las series individuales agregadas a la colección se agregó y eliminó anillos de crecimiento de acuerdo a lo observado en el seguimiento de la madera en los discos.

En Ignacio Távara se realizaron 30 modificaciones en la colección total, agregando 16 anillos y eliminando 14 anillos de crecimiento, con un promedio de 2.1 modificaciones por radio. La serie con mayor número de cambios fue NT08rd3 con 4 cambios, los cambios se realizaron considerando el seguimiento de la madera (Tabla 09, en anexos).

Asimismo, se realizaron 41 modificaciones en las series seleccionadas de Rinconada, agregando 17 y eliminando 24 anillos de crecimiento, siendo 4.1 el promedio de modificaciones por radio. RI04rd4 presentó el mayor número de modificaciones, con 7 cambios, sin embargo

este caso es excepcional y los cambios se realizaron considerando el seguimiento de la madera (Tabla 10, en anexos).

Por su parte, para obtener la colección de Piura, se realizaron 36 cambios en total, 24 anillos eliminados y 12 insertados (Tabla 11, en anexos).

La colección final de cada localidad se guardó en formato decanal (.Tucson.rwl).

2.6.3. Desarrollo de la cronología (Índice de ancho de anillos)

Para obtener la cronología anual de cada sitio (índice de ancho de anillos), todas las series individuales de crecimiento agregadas en la colección de cada población, fueron estandarizadas utilizando el paquete “Dendrochronology Program Library in R” (DplR) del programa R Studio (Alcalde, 2014; Bunn, 2010; Bunn & Korpela, 2014). R Studio es un lenguaje de programación orientado al cálculo estadístico y a la generación de gráficas. La función de la estandarización fue eliminar la variación no relacionada con los factores climáticos, removiendo la varianza debida a factores biológicos, como la edad de los árboles. De esta manera se maximiza la variabilidad de alta frecuencia (es decir longitudes de onda más cortas), generalmente asociada a factores ambientales, y elimina las de frecuencia más baja (longitudes de onda más largas) (Cook & Kalriukstis, 1990), con el propósito de determinar la correlación final entre las series individuales dentro de cada población.

Así a cada serie individual se le ajustó una doble estandarización, primero se utilizó una curva exponencial negativa, y luego se ajustó una función spline cúbica. Los índices de crecimiento son calculados para cada año mediante el cociente entre el valor medido y el valor de la serie de ajuste para el mismo año. La serie resultante tiene una media igual a uno (1), y una varianza relativamente homogénea a lo largo de toda la serie.

Posteriormente, los índices de una misma localidad fueron preblanqueados (“prewhitened”), eliminando la autocorrelación de las series con modelos autorregresivos, manteniendo una variancia semejante y uniforme. Luego fueron promediados año por año para construir la cronología media de índices de crecimiento para un determinado lugar. El método utilizado fue el de la media robusta (“biweight mean”), el cual minimiza la influencia de valores extremos (outliers) en la derivación de la cronología media (Lopez, Rodríguez, García, & Sabaté, 2006; Silva, 2012).

Además, para determinar la calidad de las cronologías de cada localidad se calcularon los siguientes estadísticos empleando el paquete DplR:

- Promedio de ancho de anillos: es la suma del ancho de los anillos de crecimiento de una serie de crecimiento.
- Sensibilidad media: permite analizar las variaciones en el ancho de los anillos de los árboles de un año respecto al otro, indicando si la variabilidad en el crecimiento está vinculada a las variaciones del clima
- Autocorrelación: representa el grado de dependencia del crecimiento respecto al año anterior de una misma serie, es decir, si el crecimiento depende o no de las condiciones climáticas actuales.
- Desviación estándar: mide la dispersión de los datos alrededor del promedio del ancho de los anillos de crecimiento.
- Correlación entre series: El coeficiente de correlación mide la interdependencia o asociación entre las series de crecimiento de distintos árboles.

2.7. Relación entre clima y el crecimiento radial

Para relacionar el clima local con el crecimiento de cada población se utilizaron valores mensuales de temperatura media y precipitación total, obtenidos del conjunto de datos de CRU TS 3.1 en un periodo de 1963 a 2014, producidos por la Unidad de Investigación del clima (Climate Research Unit). Estos datos han sido recogidos de varias estaciones meteorológicas locales y ajustados a pruebas de homogeneidad (Mitchell & Jones, 2005). Los meses de la temperatura y precipitación utilizados fueron desde septiembre del año previo al crecimiento hasta agosto del año de formación del anillo de crecimiento,

Además las cronologías de índice de crecimiento se relacionaron con la temperatura de la superficie del mar de las regiones 3.4 y 1+2 del océano pacífico (índices ENSO), obtenidos de la organización NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica) de Estados Unidos. Primero se correlacionó la cronología de cada localidad con el promedio de la temperatura de la superficie del mar de cada estación de las zonas 3.4 y 1+2 y posteriormente, se correlacionó con la temperatura mensual de la superficie del mar de la región 1+2, desde agosto del año anterior al crecimiento, hasta julio del año de formación de los anillos. Las correlaciones entre los datos climáticos y la cronología de cada población se realizaron mediante la función "dcc" del paquete "treeclim" del software R.

2.8. Comparación en el crecimiento radial de las poblaciones

Para comparar el desarrollo de la población y el impacto de los eventos de ENSO, se calculó el incremento medio de área basal por población utilizando los datos de anillos de crecimiento sin estandarizar. El incremento del área basal se calculó empleando el paquete DplR del software R Studio.

III. RESULTADOS

3.1. Colecciones poblacionales de *P. pallida*

Los resultados obtenidos de las tres localidades evaluadas mostraron un crecimiento común dentro de cada población, pero con diferencias entre ellas. No obstante, algunas variables indicaron una señal dendrocronológica común. Tal es el caso de la sensibilidad media, donde el valor en Ignacio Távara fue 0,98, en Piura 0,9 y en Rinconada fue 0,91, reflejando características aceptables de los sitios para estudios dendrocronológicos, pues el crecimiento de los anillos de los árboles es sensible a las condiciones climáticas anuales.

3.1.1. Colección de Ignacio Távara

Las series de crecimiento empleadas en la colección de Ignacio Távara (figura 20, en anexos) mostraron valores estadísticos con una señal común en el crecimiento de los anillos de la madera (tabla 01). La desviación estándar de la cronología de esta localidad fue de 7,2, siendo mayor en comparación a las otras poblaciones muestreadas, producto del mayor crecimiento de la madera en años con presencia de Evento El Niño en comparación al crecimiento en años de condiciones normales. Por otra parte, el promedio del ancho de los anillos de crecimiento de la población obtuvo un valor de 3,13 mm y la autocorrelación entre las series fue de 0,07.

La figura 20 (anexos) muestra el solapamiento de las series dendrocronológicas y se observa la buena relación existente entre las series solapadas. Como resultado el promedio del coeficiente de correlación de la colección fue de 0,44 (tabla 04). La cronología del índice de ancho de anillos (figura 13), mostró valores entre 0,07 y 3,16 mm y un promedio de 0,73, además el promedio de este índice durante años en condiciones normales fue 0,60, magnificando su crecimiento hasta 5 veces más en años con presencia de fenómenos El Niño.

Tabla 01: Características de los anillos de crecimiento en series individuales de Ignacio Távara

<i>Series</i>	<i>N° de anillos</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad Media</i>	<i>Autocorr</i>	<i>coef. Corr</i>
<i>NT01rd2</i>	40	2,70	1,19	5,91	0,88	0,16	-0,01
<i>NT01rd3</i>	37	1,86	0,82	2,58	0,99	0,31	0,40
<i>NT02rd2</i>	32	1,85	0,72	2,24	0,93	0,27	0,57
<i>NT03rd1</i>	33	4,54	1,07	9,97	0,96	-0,05	0,77
<i>NT04rd3</i>	33	1,87	0,47	5,99	1,02	0,03	0,43
<i>NT05rd1</i>	23	2,16	0,80	2,87	1,04	-0,05	0,80
<i>NT05rd2</i>	22	1,75	1,10	2,22	0,99	-0,05	0,81
<i>NT06rd1</i>	42	2,43	0,88	4,36	0,79	0,10	0,28
<i>NT07rd3</i>	30	4,09	0,73	14,05	0,84	0,11	0,00
<i>NT08rd2</i>	38	4,51	1,78	10,13	0,94	-0,06	0,53
<i>NT08rd3</i>	35	3,02	0,87	7,76	1,02	0,38	0,28
<i>NT09rd1</i>	30	2,91	1,04	5,18	1,14	-0,04	0,87
<i>NT09rd2</i>	30	5,41	1,18	14,92	1,12	-0,04	0,31
<i>NT10rd1</i>	42	4,71	0,95	12,69	1,01	-0,02	0,09

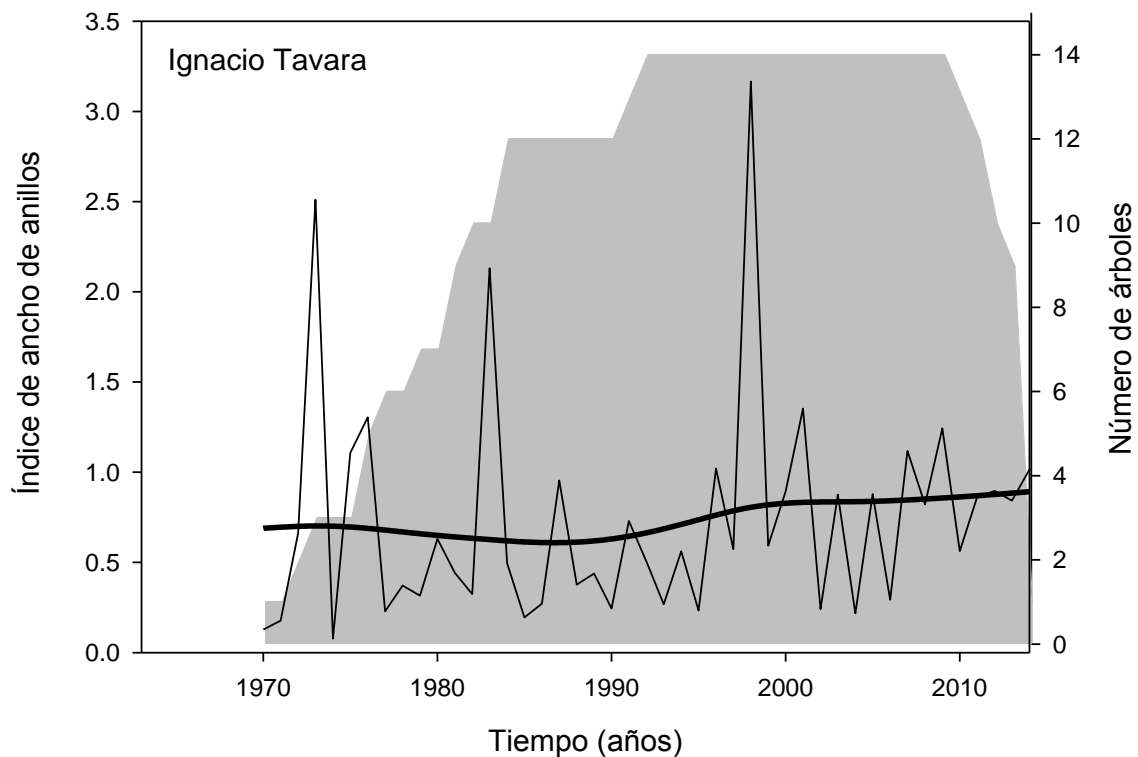


Figura 13: Cronología de índice de ancho de anillos de Ignacio Távora. Línea delgada representa el índice de ancho de anillos. Línea gruesa representa la tendencia en el crecimiento. Fondo gris es el número de radios solapados durante cada año.

3.1.2. Colección de Piura:

Los valores estadísticos de la colección de Piura también fueron considerablemente altos (tabla 02). El solapamiento de las series individuales demuestra semejanzas en el crecimiento de la madera entre los individuos (figura 21, en anexos). Esta relación se refleja con un coeficiente de correlación de 0,49 (tabla 04), siendo la población con mayor correlación obtenida entre sus series.

Además, el promedio del ancho de anillos de crecimiento fue parecido a Ignacio Távara, con un valor alto de 3,45 mm, causado por la repercusión del Evento El Niño en el crecimiento de la madera durante estos años específicos, donde los anillos alcanzan los mayores picos de crecimiento. Sin embargo, la desviación estándar de la colección fue menor a la de Ignacio Távara, obteniendo un valor de 4,79, mientras el coeficiente de autocorrelación fue de 0,39 (Tabla 04).

Tabla 02: Características de los anillos de crecimiento en series individuales de Piura

<i>Series</i>	<i>N° de anillos</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad Media</i>	<i>Autocorr</i>	<i>coef. Corr</i>
<i>UD02rd1</i>	37	3,319	1,37	4,099	0,999	0,424	0,40
<i>UD03rd1</i>	34	4,21	1,935	5,067	0,804	0,726	0,61
<i>UD04rd1</i>	50	3,303	1,55	3,777	0,939	0,186	0,59
<i>UD05rd1</i>	30	2,918	0,875	4,834	0,99	0,672	0,39
<i>UD06rd3</i>	32	3,454	1,765	4,091	1,047	0,302	0,54
<i>UD07rd1</i>	50	2,406	1,18	2,899	0,85	0,26	0,45
<i>UD09rd1</i>	45	2,684	1,1	3,406	0,848	0,42	0,65
<i>UD10rd1</i>	37	2,618	1,05	3,299	0,681	0,627	0,49
<i>UD11rd1</i>	34	6,356	2,695	9,816	0,863	0,36	0,20
<i>UD12rd1</i>	33	3,368	1,1	7,592	0,904	0,101	0,57
<i>UD13rd3</i>	30	3,397	1,675	3,755	0,922	0,252	0,52

Por otra parte, la cronología del índice del ancho de anillos (figura 14), presentó valores máximos y mínimos de 2,26 y 0,08 respectivamente. Además, en los años de crecimiento con condiciones normales el promedio fue alrededor de 1, no obstante, el crecimiento solo se duplicó en años de fenómeno El Niño.

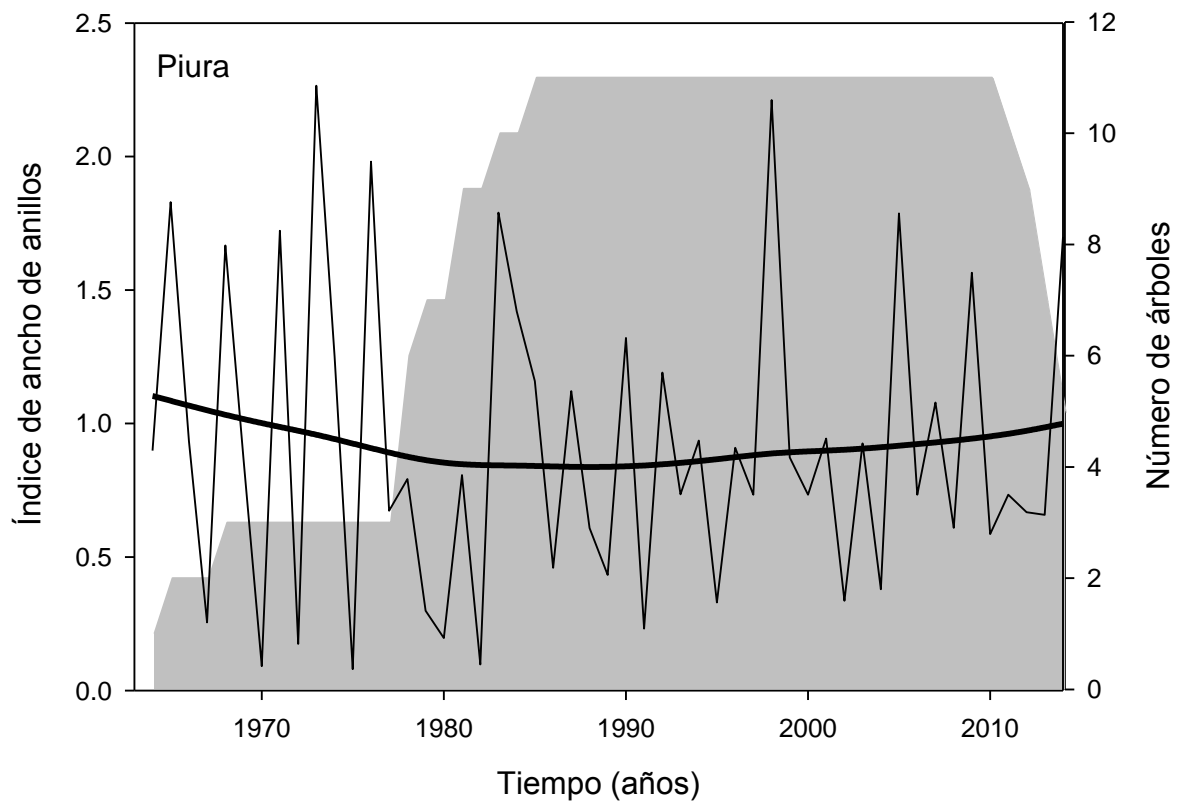


Figura 14: Cronología de índice de ancho de anillos de Piura. Línea delgada representa el índice de ancho de anillos. Línea gruesa representa la tendencia en el crecimiento. Fondo gris es el número de radios solapados durante cada año.

3.1.3. Colección de La Rinconada:

La tabla 03 muestra los valores estadísticos obtenidos de las series individuales del bosque de La Rinconada. El coeficiente de correlación promedio de la colección de La Rinconada fue el menor de las tres localidades, obteniendo un valor de 0,34, representando una baja relación en el crecimiento de los árboles (figura 22, en anexos).

El crecimiento promedio de los anillos de los árboles de Rinconada fue el más alto de los tres lugares (3,95 mm), a causa de picos de crecimiento más altos y frecuentes durante años sin eventos del Niño. La desviación estándar fue de 5,45 y considerada buena con respecto al promedio del ancho de los anillos de crecimiento. Por otra parte la autocorrelación fue similar al valor obtenido del bosque de Piura.

Tabla 03: Características de los anillos de crecimiento en series individuales de La Rinconada

<i>Series</i>	<i>N° de anillos</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad media</i>	<i>Autocorr</i>	<i>coef. Corr</i>
<i>RI01rd1</i>	35	4,585	2,79	5,377	0,849	0,267	0,49
<i>RI02rd2</i>	36	4,062	2,705	5,403	1,056	-0,125	0,52
<i>RI03rd2</i>	42	3,36	1,59	5,29	0,871	0,469	0,30
<i>RI04rd4</i>	49	2,872	1,3	4,845	0,917	0,597	0,07
<i>RI05rd2</i>	40	5,014	2,675	7,285	0,848	0,725	0,55
<i>RI06rd1</i>	38	3,984	2,345	4,581	0,824	0,313	0,29
<i>RI07rd1</i>	49	3,898	1,7	6,614	0,978	0,097	0,07
<i>RI08rd3</i>	46	3,183	1,745	3,887	0,756	0,467	0,54
<i>RI09rd1</i>	41	5,123	2,55	7,487	1,002	0,31	0,40
<i>RI10rd2</i>	51	3,433	2,2	3,791	1,022	0,142	0,17

En cuanto a la cronología del índice del ancho de anillos, el crecimiento fue superior a los otros bosques en épocas de no Niño. Asimismo, el crecimiento fue superior durante los años con presencia de este evento en comparación a los otros años, sin embargo fue la población menos dependiente a estos eventos, debido al crecimiento considerable durante los demás años (figura 15).

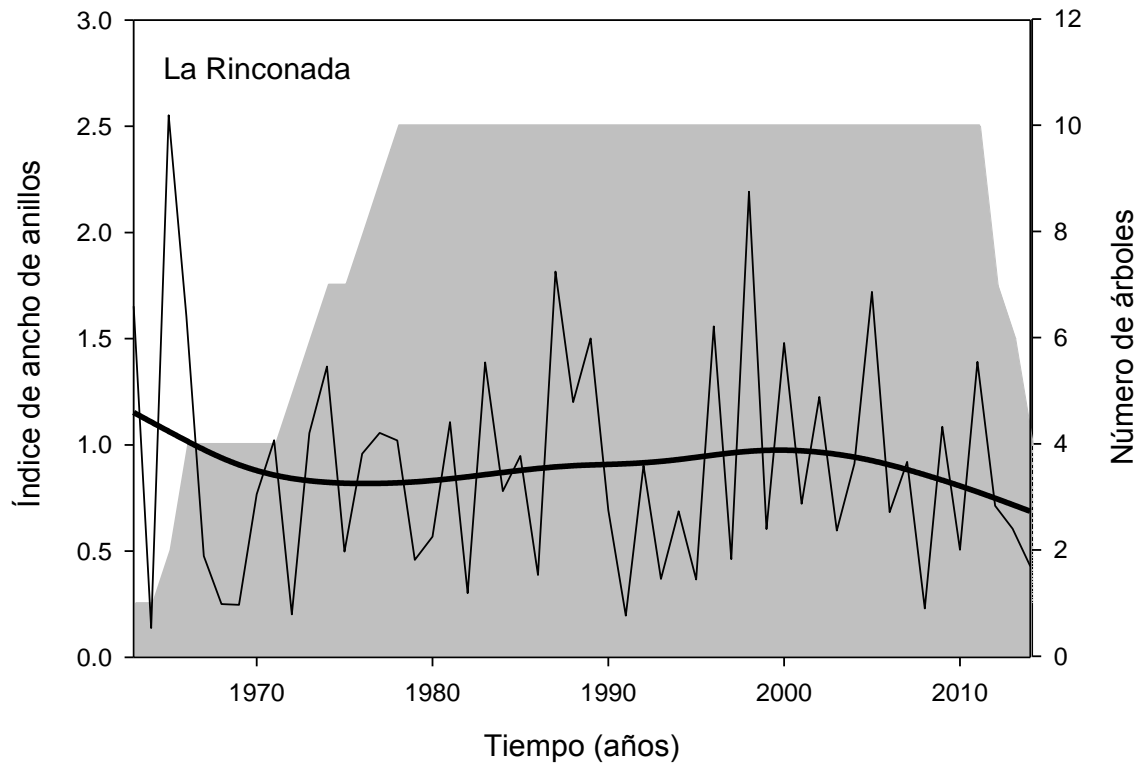


Figura 15: Cronología de índice de ancho de anillos de La Rinconada. Línea delgada representa el índice de ancho de anillos. Línea gruesa representa la tendencia en el crecimiento. Fondo gris es el número de radios solapados durante cada año.

Tabla 04: Características de las cronologías de los anillos de los árboles de las poblaciones para el período común.

<i>Variables</i>	<i>Ignacio Távara</i>	<i>Piura</i>	<i>La Rinconada</i>
<i>Nº de árboles (radio)</i>	10 (14)	11	10
<i>ancho de anillo (mm)</i>	3,13	3,45	3,95
<i>Desviación estándar (mm)</i>	7,2	4,79	5,45
<i>Autocorrelación</i>	0,07	0,39	0,33
<i>Sensibilidad media</i>	0,98	0,9	0,91
<i>Coefficiente de correlación</i>	0,44	0,49	0,34

3.2. Interacción entre clima local y el crecimiento radial de la madera de *P. pallida*

La correlación entre el índice del ancho de los anillos de crecimiento de los tres lugares estudiados y la precipitación media de cada mes, obtuvo valores positivos durante enero, periodo con las mayores precipitaciones en la región Piura cada año y durante Eventos El niño.

En Ignacio Távara, el coeficiente de correlación durante este mes fue de 0,67, siendo mayor sobre las poblaciones de Piura y La Rinconada. De igual modo en el bosque de Piura la correlación fue significativa, obteniendo un valor de 0,40 y superior a La Rinconada, donde el coeficiente de correlación de 0,07 no fue significativo durante este mes, pero si mayor a los otros meses (figura 16).

Además, los resultados obtenidos indican la influencia del gradiente de precipitación en el crecimiento de las poblaciones de *P. pallida*. Siendo este gradiente mayor cuanto más alejado esté de la costa.

Asimismo, en la localidad de Ignacio Távara, el índice del ancho de los anillos de crecimiento, se correlacionó positivamente con la temperatura media mensual de octubre ($r=0,50$), correspondiente a la primavera del año anterior, además, el crecimiento se relacionó significativamente con enero, febrero y marzo, pero la correlación fue menor en comparación a octubre. El bosque de Piura, también mostró relaciones significativas, sin embargo las correlaciones fueron menores a las de Ignacio Távara, obteniendo un coeficiente de correlación de 0,38 en octubre y 0,33 en diciembre. Con respecto al bosque de La Rinconada, no se encontraron correlaciones significativas con la temperatura (figura 16).

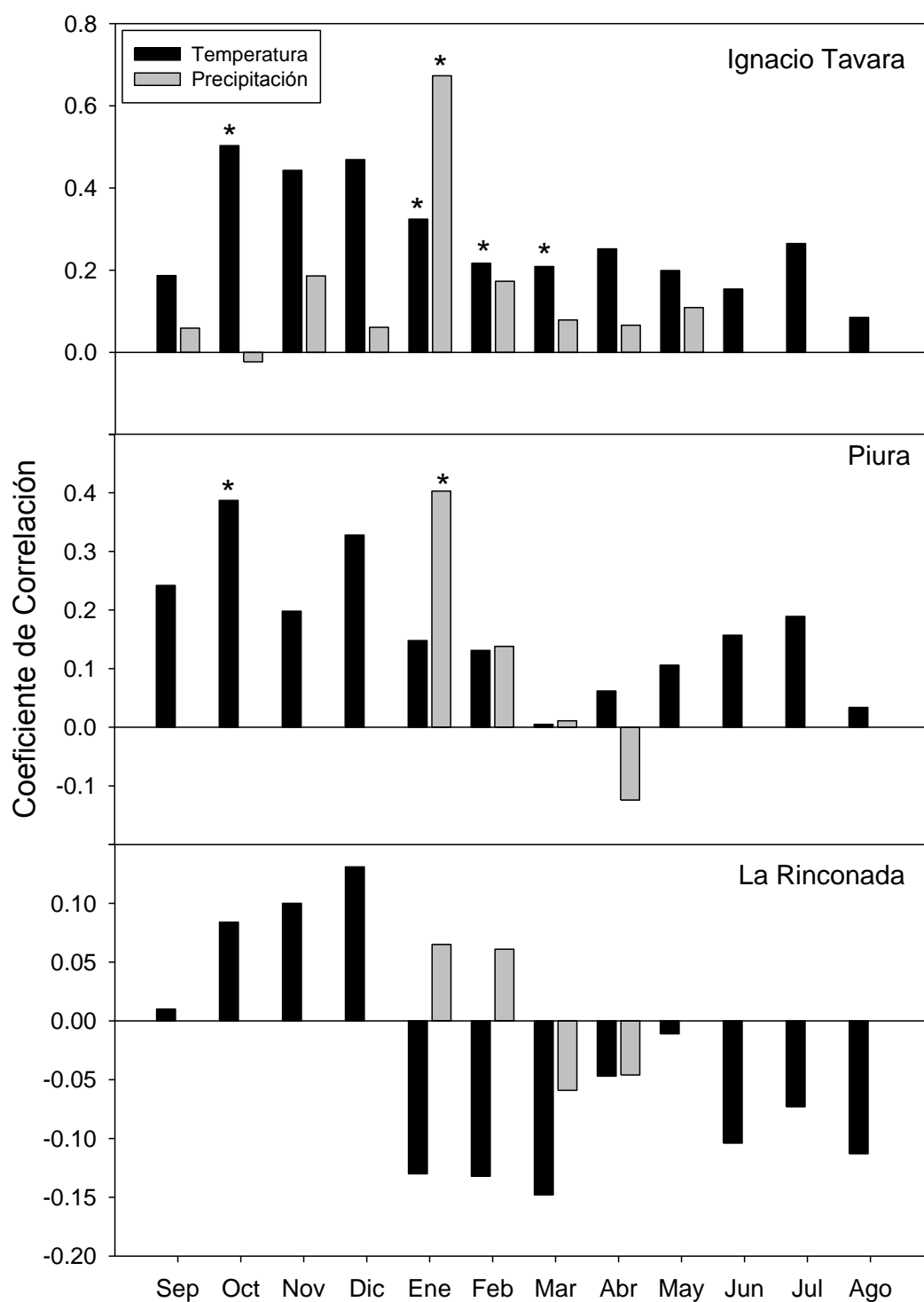


Figura 16: Correlación del índice de ancho de anillos con la temperatura y precipitación mensual desde setiembre del año anterior hasta agosto del año en que se forman los anillos.

3.3. Respuesta de las poblaciones a los ENSO

Ignacio Távara fue la localidad de mejor respuesta a la temperatura de la superficie del mar del pacífico.

La cronología del índice de ancho de anillos de la localidad de Ignacio Távara se correlacionó positivamente con la temperatura del mar de la zona Niño 1+2 durante la estación de invierno del año anterior y la estación de verano del año en que se formaron los anillos de crecimiento. Los coeficientes de correlación en ambos casos fueron significativos, 0,53 y 0,67 respectivamente. Asimismo, la correlación con la temperatura superficial de la zona Niño 3.4 durante la estación de invierno del año anterior fue alta (0,41) pero no significativa, por tanto no se consideró como buena correlación (tabla 05).

Por otra parte, las cronologías del índice de ancho de anillos de los bosques de Piura y La Rinconada no presentaron coeficientes de correlación significativos con la temperatura superficial de la zona Niño 1+2 y la zona Niño 3.4 durante las diferentes estaciones. Las correlaciones fueron bajas, siendo rinconada la localidad con los menores valores obtenidos (tabla 05).

Con respecto a la correlación entre el índice de ancho de anillos y el índice de la temperatura media mensual de la zona niño 1+2, los valores más altos fueron para el bosque de Ignacio Távara. El crecimiento de la madera tuvo mejor respuesta durante agosto y setiembre del año anterior y en febrero y marzo del año de formación de los anillos. Durante estos meses la correlación fue positiva y significativa. La correlación durante octubre- enero también fue alta, pero no significativa (figura 17).

En cuanto al índice del bosque de Piura, la correlación con la temperatura del mar fue significativa durante agosto ($r=0,38$) y setiembre ($r=0,40$) del año previo al crecimiento. Por su parte el índice de crecimiento de La Rinconada no se correlacionó positivamente con ningún mes (figura 17).

Tabla 05: Coeficiente de correlación de Pearson entre el índice de crecimiento de los árboles de cada población y los índices medios de temperatura superficial del mar de las áreas geográficas Niño 1 + 2 y Niño 3.4.

<i>Índice ENSO de la temperatura</i>		<i>Índice de crecimiento</i>		
<i>superficial del mar</i>		IT	PI	RIN
Niño 1+2	Invierno (t-1) (J-A-Sep)	0,53*	0,36	0,18
	Primavera (t-1) (O-N-D)	0,58	0,37	0,26
	Verano (E-F-M)	0,67*	0,31	0,32
	Otoño (A-M-J)	0,43	0,29	0,24
	Invierno (t) (J-A-Sep)	0,21	0,17	0,02
Niño 3.4	Invierno (t-1) (J-A-Sep)	0,41	0,19	0,07
	Primavera (t-1) (O-N-D)	0,37	0,19	0,05
	Verano (t) (E-F-M)	0,36	0,15	0,09
	Otoño (t) (A-M-J)	0,15	0,07	0,03
	Invierno (t) (J-A-Sep)	-0,18	-0,09	-0,01

IT: Ignacio Távara, PI: Piura, RIN: Rinconada, t: año de formación del anillo, t-1: año previo a la formación del anillo.

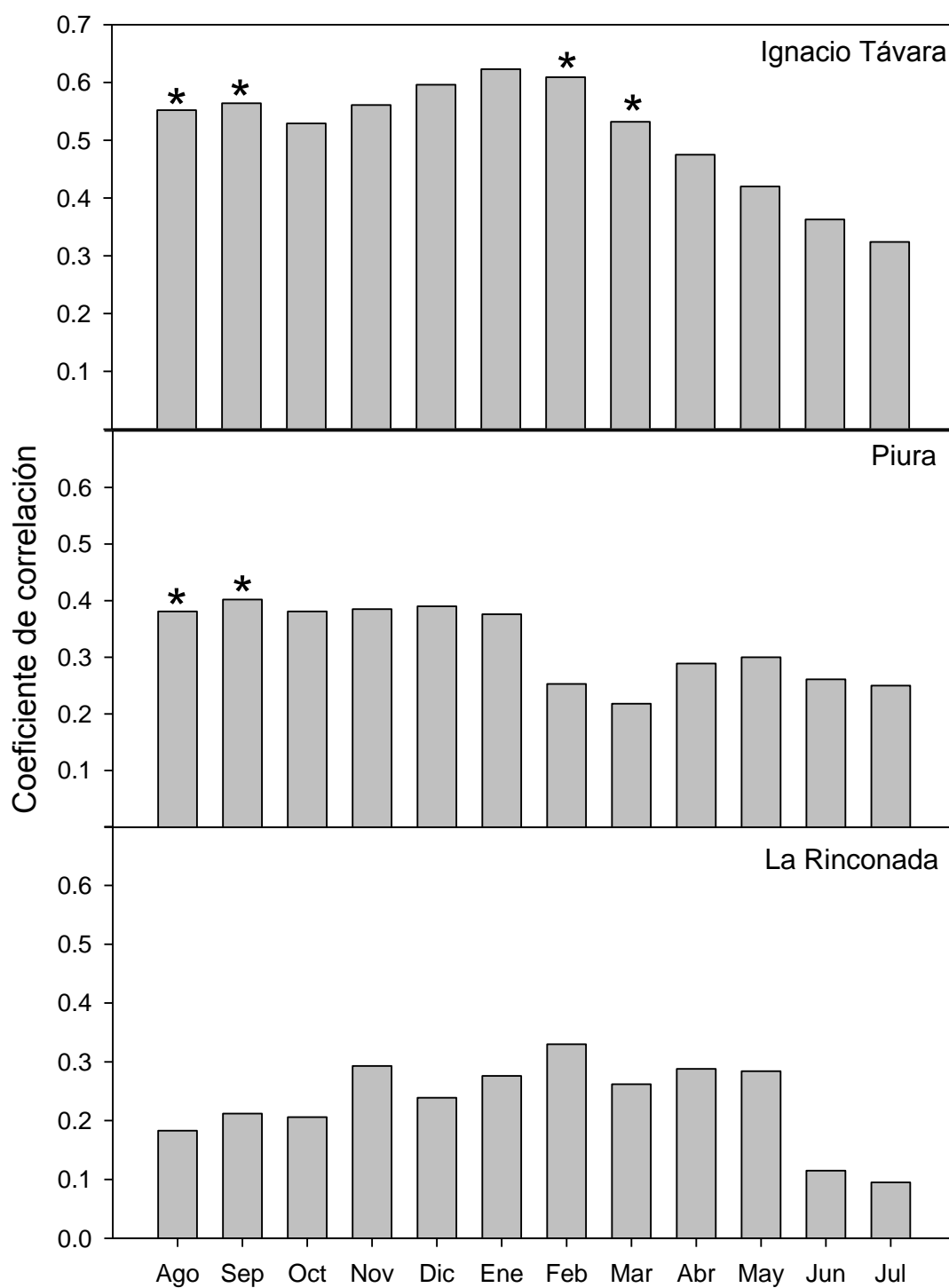


Figure 17. Correlación de la temperatura media mensual del mar en la región Niño 1+2 con la cronología del índice de ancho de anillos de *P. pallida* en cada población. * $p < 0.05$.

3.4. Crecimiento radial de las diferentes poblaciones

Los resultados obtenidos en el incremento del área basal indican diferencias en el crecimiento de las poblaciones a lo largo de su cronología común. Las tres poblaciones presentaron picos de crecimiento más altos en años de Evento El Niño. El incremento más pronunciado se presentó en los años 1973, 1983 y 1998, considerados eventos de intensidad muy fuertes. En cuanto a Ignacio Távara, fue la población de mayor respuesta a los Eventos El Niño. Por otra parte, el bosque de Piura y La Rinconada presentaron picos de crecimientos considerablemente altos en algunos años donde no se registró este evento. La población con mayor crecimiento fue La Rinconada, siendo casi el doble de Ignacio Távara.

La tendencia en el crecimiento en Ignacio Távara durante los primeros años de vida es constante, manteniéndose hasta el año 2000, donde la curva de crecimiento empieza a declinar. Asimismo, en Piura el crecimiento durante los primeros años aumenta constantemente aproximadamente hasta el 1985. Durante los últimos años, el crecimiento disminuye considerablemente. Por último, en el bosque de la Rinconada, hay un aumento constante en el crecimiento hasta el año 1979, manteniendo esta disposición aproximadamente hasta el año 2001, donde también empieza a declinar considerablemente (figura 18).

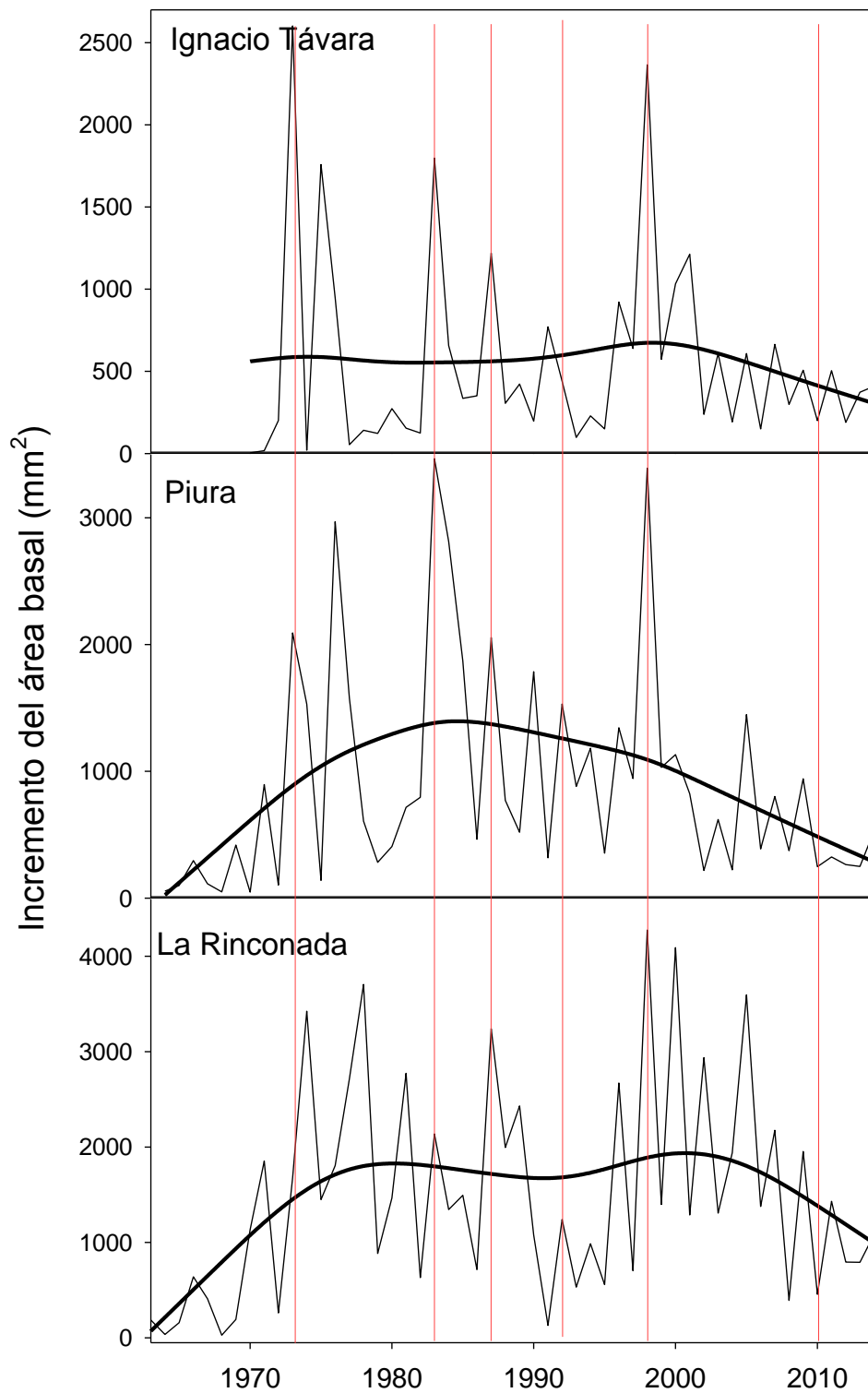


Figura 18: Incremento en el área basal (mm²) de las poblaciones de Algarrobo a lo largo del tiempo. Líneas verticales indican Eventos El Niño registrados

IV. DISCUSIÓN

En las tres poblaciones de *P. pallida* fue posible elaborar colecciones dendrocronológicas con valores estadísticos aceptables, indicadores de una buena cronología. De acuerdo a nuestros resultados, la baja autocorrelación obtenida, representa la independencia del crecimiento respecto al año anterior de una misma serie, es decir, el crecimiento depende de las condiciones climáticas actuales, no del clima de años anteriores. Ignacio Távara (0,07) fue la población con mayor diferencia en el crecimiento año tras año, en comparación al bosque de Piura (0,39) y Rinconada (0,33). Estos valores son comparables a los obtenidos para especies tropicales (de Ridder et al., 2013; Gareca, Fernández & Stanton, 2010) y para diferentes especies de *Prosopis* que habitan climas áridos y semiáridos (Villalba & Boninsegna, 1989). En cuanto a la desviación estándar, nuestros valores fueron altos, debido al impacto del Evento El niño en el crecimiento de los árboles, amplificando la dispersión de los datos, sin embargo, al realizarse la estandarización de las series de crecimiento, los valores de la desviación estándar promedio son similares en comparación a estudios con la misma especie, con series estandarizadas (López et al., 2005) y con especies de bosque secos tropicales (Ferrero & Villalba, 2009). Por otra parte, la sensibilidad media en este estudio obtuvo valores entre 0,90 y 0,98, lo cual puede representar una influencia baja de las condiciones externas, y coherente a los resultados obtenidos por Lopez, Rodríguez, García & Sabaté (2006), donde los valores de sensibilidad media oscilan entre 0.55 y 0.85 para poblaciones de *P. pallida* distribuidas en un gradiente latitudinal a lo largo de la costa peruana.

Además, la sensibilidad media de las poblaciones de este estudio, son mayores a los obtenidos en *P. ferox*, una especie de desiertos subtropicales de alta montaña de Argentina y Bolivia (Morales et al., 2001), sin embargo, permanece en el rango de valores de especies de

tierras áridas o semiáridas del mundo (Lopez et al., 2006). Por último, el coeficiente de correlación medio entre las series de cada localidad demuestra la relación entre las series e indica una señal común en las variaciones interanuales del crecimiento de los individuos. La correlación de las series de Piura (0,49) fue ligeramente mayor a Ignacio Távara (0,44) y superior a La Rinconada (0,34), posiblemente debido al tratamiento recibido por este bosque. Estos valores son bajos comparados con las especies usadas normalmente en dendrocronología, como las pertenecientes a la familia de los pinos, o a otras especies de zonas templadas, pero aceptables para ecosistemas de zonas tropicales (Ferrero, Villalba & Rivera, 2014; Gareca et al., 2010) y para especies del género *Prosopis* (Lopez et al., 2006; Morales et al., 2001; Rodríguez et al., 2005; Villalba & Boninsegna, 1989).

El clima de cada localidad, repercute en el crecimiento de las poblaciones estudiadas de *P. pallida*, con respuestas positivas a las condiciones de temperatura y precipitación, pero cada población responde de manera diferente al clima local. Según Roig (2000), en climas tropicales con largas y severas condiciones de sequía, la estacionalidad de la precipitación constituye el factor determinante en el crecimiento de los árboles, y los anillos de crecimiento pueden reflejar la variación interanual de la precipitación. En nuestros resultados, la precipitación de enero se relaciona positivamente con el bosque de Ignacio Távara, localidad con los mayores niveles de lluvia durante la estación de verano, donde las poblaciones de *P. pallida* aprovechan el crecimiento durante los meses de precipitación, constatando lo mencionado por el autor. Además, estudios en *P. caldenia*, *P. pallida* y *P. flexuosa* también demuestran la relación entre el crecimiento radial y las variaciones interanuales en las precipitaciones (López et al., 2005; Lopez et al., 2006; Villalba et al., 2000).

Por otra parte, el crecimiento en Piura se correlacionó significativamente con la precipitación de verano, sin embargo la relación entre el crecimiento y la lluvia fue menor que en Ignacio Távara. Asimismo, en la población de La Rinconada, la correlación con la precipitación fue muy baja. A pesar de que todas las poblaciones de algarrobo se benefician con las precipitaciones, las diferencias en el crecimiento en respuesta a la precipitación, indica que no todas las poblaciones dependen directamente de las lluvias para lograr su crecimiento. Otros factores como la poda y la humedad relativa controlan significativamente el crecimiento. En los bosques de Piura, el manejo de los árboles influye en el crecimiento de la población, tal como se ha demostrado en *P. flexuosa*, donde la poda influye positivamente en el crecimiento radial de la madera (Giantomasi, Alvarez, Villagra, Debandi & Roig, 2015). En La Rinconada, la humedad relativa es un factor importante al estar más cerca del mar, favoreciendo el crecimiento en años más secos. En el 2014 el promedio de la humedad relativa en La Rinconada fue 72%, siendo superior a Ignacio Távara donde la humedad fue 66%. También el puño y la concentración de nutrientes son mayores en La Rinconada y Piura, lo cual sugiere un mayor contenido de nutrientes y una menor evaporación del suelo.

La temperatura local repercute en el crecimiento de los algarrobos de Ignacio Távara. La correlación significativa durante octubre del año anterior coincide con el inicio de la primavera, estación donde la temperatura empieza a aumentar, y donde la fenología de las plantas se activa. Del mismo modo en la población de Piura la correlación fue alta y significativa durante este mes, no obstante fue menor a Ignacio Távara. Estos resultados también fueron obtenidos para *P. flexuosa*, en la provincia de Mendoza, Argentina, donde el crecimiento está regulado, en cierta medida por las condiciones imperantes en primavera (Villalba et al., 2000). El periodo de inactividad invernal de *P. flexuosa* es seguido por una reactivación de la actividad del

cambium a fines de octubre, alcanzando su mayor nivel de producción de tejido leñoso en noviembre-diciembre y declinando en abril, demostrando la coincidencia de la actividad del cambium con el ciclo climático y las fases fenológicas (Villalba, 1985). Además el crecimiento en Ignacio Távara también se relacionó significativamente con la temperatura de enero, pero la correlación fue menor en comparación a octubre. Mientras tanto en Piura la correlación durante este mes fue muy baja. Para ambos casos, se demostró que el factor más importante que determina el crecimiento, es la precipitación durante enero.

La población *P. pallida* de La Rinconada no se correlacionó con la temperatura local mensual y como se mencionó anteriormente, tampoco se correlacionó con la precipitación. En esta localidad la condición imperante en el crecimiento de los árboles es la humedad relativa. La humedad relativa de esta localidad es mayor a las otras localidades por estar cerca al mar, generando así, condiciones más favorables y estables para el crecimiento de los árboles durante todo el año. Además, la disponibilidad de agua subterránea, generado por las filtraciones del río Chira, también influiría en el crecimiento de estos algarrobales. El uso de agua subterránea por las poblaciones, está influenciado por las fluctuaciones en profundidad de la napa freática (Ramawat, 2009; Villalba et al., 2000).

El índice de ancho de los anillos de crecimiento de las poblaciones estudiadas se correlacionan de manera diferente a las fluctuaciones de la temperatura superficial del mar de la zona Niño 1+2. La población de Ignacio Távara presenta una relación significativa con la temperatura superficial del mar durante la estación de invierno del año anterior y el verano del año en curso, en cambio la población de Piura y La Rinconada no se correlacionan con este parámetro. En este sentido el océano Pacífico cumple un rol fundamental en la determinación del clima local, siendo fuente de humedad para la atmósfera y controlando el régimen de las

precipitaciones. Estos resultados, demuestran el impacto del Evento El Niño en el crecimiento de la población de Ignacio Távara, donde el crecimiento radial de la madera se magnifica con las precipitaciones extremas asociadas a este evento, además la relación inexistente entre la temperatura de la zona Niño 1+2 con las otras poblaciones, manifiesta el menor impacto del Evento El Niño en el crecimiento de estos árboles, donde las condiciones locales son más estables, e influirían en su crecimiento.

Por otra parte, la temperatura de la superficie del mar de la zona Niño 3.4 no se relaciona con el crecimiento de las poblaciones empleadas en este estudio. Esto se debe a que el calentamiento de las aguas en la región Niño 3.4 no siempre se traduce en precipitaciones para las poblaciones de estudio, en ocasiones esto repercute directamente en el clima de las costas de Norteamérica, y en menor medida en las costas de Sudamérica, como ha ocurrido en el 2001, 2005 y 2016. Por consiguiente, aunque el efecto de la temperatura superficial en esta parte del pacífico ha provocado eventos climáticos extremos en el pasado, no es un indicador consistente del clima en las poblaciones de algarrobo de la costa peruana por la lejanía de esta región.

Las diferencias en el crecimiento de los árboles en especies del género *Prosopis*, se refleja en la plasticidad y adaptabilidad a diferentes ambientes (Villalba et al., 2000). En *P. pallida*, esta condición se demuestra con la cronología de los tres lugares estudiados y en el incremento del área basal, siendo diferentes entre cada localidad. No obstante, el crecimiento durante años de Evento El Niño obtuvo los incrementos más pronunciados en todas las poblaciones. Del mismo modo, Rodríguez et al. (2005), describe picos de crecimientos muy altos en árboles de “palo santo” extraídos cerca de Chulucanas y “algarrobos” extraídos en Casma, durante los años con presencia de Evento El Niño. El efecto de este evento se manifiesta mejor en Ignacio Távara donde el crecimiento parece depender exclusivamente de las precipitaciones, pues el

promedio de lluvias de Ignacio Távara durante cada año, es mayor al de otras localidades. Asimismo, durante los años sin presencia de Evento El Niño, el incremento del área basal fue diferente entre las poblaciones. El crecimiento en el bosque de La Rinconada fue mayor a la población de Piura e Ignacio Távara, siendo este último, la población con menor crecimiento durante los años de no niño. Esta diferencia en el desarrollo de la madera durante los años con condiciones normales, evidencia la intervención de otros factores determinantes en el crecimiento de los árboles, como la mayor humedad relativa en La Rinconada generada por la proximidad al océano pacífico, o el tratamiento al bosque de Piura, donde la poda influye en el crecimiento radial (Giantomasi et al., 2015), siendo estos factores muy importantes en el crecimiento durante años muy secos, sin depender totalmente de las precipitaciones de verano.

Para finalizar, la respuesta positiva del crecimiento radial de la población de Ignacio Távara a las condiciones climáticas asociadas a la temperatura superficial del mar, también estaría relacionada a tres factores importantes: la distancia al mar, la cercanía a los andes y la distribución geográfica. La distancia al mar influye en la humedad relativa del aire, siendo menor en Ignacio Távara en comparación a las otras poblaciones. Como consecuencia, el impacto de esta variable estaría menos asociado al crecimiento de la madera, caso contrario a las poblaciones de La Rinconada y Piura donde la humedad del aire proporciona condiciones favorables para el crecimiento. Por otra parte, las poblaciones cercanas a la cordillera de los Andes, presentan temperaturas más altas, debido a que el calentamiento de la superficie del mar influye directamente en el incremento de la temperatura de los Andes (Vuille et al., 2015). Por último, la distribución geográfica de las poblaciones repercutiría en el crecimiento radial, puesto que las poblaciones marginales suelen tener una mayor respuesta a la temperatura y precipitación (de Ridder et al., 2013), como sucede con Ignacio Távara.

V. CONCLUSIONES

El crecimiento promedio anual de la madera de *P. pallida* fue de 3,51 cm, siendo mayor durante Eventos El Niño.

P. pallida generó series de crecimiento con valores estadísticos aceptables. La población de Piura fue la de mayor señal común entre sus series con un coeficiente de correlación de 0,49, seguida de Ignacio Távara con 0,44 y La Rinconada con 0,34.

En Ignacio Távara el crecimiento se correlacionó con la precipitación de enero con un coeficiente de 0,67. Sin embargo, en Piura fue de 0,40 y en La Rinconada fue muy baja, con 0,07. Además, Ignacio Távara se correlacionó con la temperatura de octubre con 0,5. En Piura, el coeficiente de correlación fue de 0,38 y en La Rinconada fue de 0,08.

La Rinconada fue la población con mayor crecimiento, creció en promedio 3,95 mm. La población de Piura creció 3,45 y en Ignacio Távara fue de 3,13 mm. Sin embargo, Ignacio Távara fue la de mayor crecimiento durante los Eventos El Niño.

.

VI. RECOMENDACIONES

- Generar cronologías con muestras arqueológicas de *P. pallida*, con la finalidad de realizar reconstrucciones del clima del pasado.
- Estudiar el efecto de otros factores como humedad relativa, fluctuaciones de la napa freática, densidad del bosque y relaciones con eventos oceanográficos del mundo, en el crecimiento radial de *P. pallida*.
- Realizar investigaciones en temas de gran impacto en los bosques secos de la región como dinámica de los bosques, tratamientos silvícolas y estudios sobre plagas, empleando los anillos de crecimiento
- Sugerir a los programas de protección forestal regional que sean enfocados en las zonas más frágiles y vulnerables a la temperatura, como Ignacio Távara.

VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalde, G. (2014). Respuesta individual de *Prosopis caldenia* a las variables climáticas en los bosques de la región semiárida de Argentina. Universidad de Valladolid, Argentina.
- Bunn, A. (2010). Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, 28, 252–258.
- Bunn, A., & Korpela, M. (2014). An introduction to dplR, 2, 1–15.
- Burkart, A. (1920). Journal of the Arnold Arboretum. *Botanical Gazette*, 69(1), 95–96.
<https://doi.org/10.1086/332616>
- Champin, G. M. (2002). El manejo participativo del Bosque Seco: La experiencia de Nacho Távara. Lima, Perú: Instituto Nacional de Recursos Naturales-Proyecto Algarrobo.
- Cook, E. ., & Kalriukstis, L. a. (1990). Application in the environmental sciences. *Methods of Dendrochronology*, 1, 97–104.
- de Ridder, M., Trouet, V., van den Bulcke, J., Hubau, W., van Acker, J., & Beeckman, H. (2013). A tree-ring based comparison of *Terminalia superba* climate-growth relationships in West and Central Africa. *Trees - Structure and Function*, 27(5), 1225–1238. <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0871-3>
- Díaz, A. (1995). Los Algarrobos. Trujillo, Perú: Editorial Libertad.
- Ferrero, M. E., & Villalba, R. (2009). Potential of *Schinopsis lorentzii* for dendrochronological studies in subtropical dry Chaco forests of South America. *Trees - Structure and Function*, 23(6), 1275–1284. <https://doi.org/10.1007/s00468-009->

- Ferrero, M. E., Villalba, R., & Rivera, S. M. (2014). An assessment of growth ring identification in subtropical forests from northwestern Argentina. *Dendrochronologia*, 32(2), 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2014.01.003>
- Gareca, E. E., Fernández, M., & Stanton, S. (2010). Dendrochronological investigation of the high Andean tree species *Polylepis besseri* and implications for management and conservation. *Biodiversity and Conservation*, 19(7), 1839–1851. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9807-z>
- Ghezzi, I., & Rodríguez, R. (2015). Primera serie dendroarqueológica en el Perú: Resultados preliminares de Chankillo, Casma. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 44(1). <https://doi.org/10.4000/bifea.7465>
- Giantomasi, M. A., Alvarez, J. A., Villagra, P. E., Debandi, G., & Roig-Juñent, F. A. (2015). Pruning effects on ring width and wood hydrosystem of *Prosopis flexuosa* DC from arid woodlands. *Dendrochronologia*, 35, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.07.002>
- Giantomasi, M. A., Juñent, F. A. R., Villagra, P. E., & Srur, A. M. (2009). Annual variation and influence of climate on the ring width and wood hydrosystem of *Prosopis flexuosa* DC trees using image analysis. *Trees - Structure and Function*, 23(1), 117–126. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0260-5>
- Holmgren, M., Stapp, P., Dickman, C. R., Gracia, C., Graham, S., Gutiérrez, J. R., ... Squeo, F. A. (2006). Extreme climatic events shape arid and semiarid ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(2), 87–95. <https://doi.org/10.1890/1540->

- López, B. C., Sabaté, S., Gracia, C. A., & Rodríguez, R. (2005). Wood anatomy, description of annual rings, and responses to ENSO events of *Prosopis pallida* H.B.K., a wide-spread woody plant of arid and semi-arid lands of Latin America. *Journal of Arid Environments*, 61(4), 541–554. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.10.008>
- Lopez, B., Rodríguez, R., García, C., & Sabaté, S. (2006). Climatic signals in growth and its relation to ENSO events of two *Prosopis* species following a latitudinal gradient in South America. *Global Change Biology*, 12(5), 897–906. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01138.x>
- López, L. (2011). Una aproximación dendrocronológica a la ecología y el manejo de los bosques tropicales secos del cerrado boliviano (*tesis doctoral*). Universidad Nacional del Comahue, Rio Negro, Argentina.
- Mitchell, T. D., & Jones, P. D. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*, 25(6), 693–712. <https://doi.org/10.1002/joc.1181>
- Morales, M. S., Villalba, R., Grau, H. R., Villagra, P. E., Boninsegna, J. A., Ripalta, A., & Paolini, L. (2001). Potencialidad de *Prosopis ferox* Griseb (Leguminosae, subfamilia: Mimosoideae) para estudios dendrocronológicos en desiertos subtropicales de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural*, 74(4), 865–872. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2001000400013>
- Orihuela, C., & Albán, L. (2012). Servicio de consultoría del “Estudio de identificación, priorización , evaluación e integración de la valorización económica de los servicios

ecosistémicos en los procesos de planificación y de inversión pública de la Región Piura,” 1–100.

Padrón, E., & Navarro, R. M. (2004). Estimation of above-ground biomass in naturally occurring populations of *Prosopis pallida* (H. & B. ex. Willd.) H.B.K. in the north of Peru. *Journal of Arid Environments*, 56(2), 283–292. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00055-7](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00055-7)

Palacios, R. A., Burghardt, A. D., Frías-Hernández, J. T., Olalde-Portugal, V., Grados, N., Alban, L., & Martínez-de la Vega, O. (2012). Comparative study (AFLP and morphology) of three species of *Prosopis* of the Section Algarobia: *P. juliflora*, *P. pallida*, and *P. limensis*. Evidence for resolution of the “*P. pallida*–*P. juliflora* complex.” *Plant Systematics and Evolution*, 298(1), 165–171. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0535-y>

Portocarrero, C., Pizarro, I., Alzamora, M., More, A., & Gallo, L. (2012). Estrategia regional y plan de acción para la conservación de la diversidad biológica de la región Piura. Retrieved from <https://www.cbd.int/doc/nbsap/sbsap/pe-sbsap-piura-es.pdf>

Quijandría, A., Prieto, M., Salinas, C., & Gutiérrez, M. (2001). Dinámica de la producción de los algarrobales de Lambayeque. Lambayeque, Perú: Proyecto Algarrobo.

Ramawat, K. (2009). Desert Plants: Biology and Biotechnology. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02550-1>

Rodríguez, R., & Fernández, R. (2009). Dendrocronología básica. Piura, Perú: Instituto Regional de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno Regional de Piura.

Rodríguez, R., Mabres, A., Luckman, B., Evans, M., Masiokas, M., & Ektvedt, T. M.

- (2005). “El Niño” events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, 22(3), 181–186.
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.05.002>
- Roig, F. A. (2000). Dendrocronología en los bosques del Neotrópico. In F. A. Roig (Ed.), *Dendrocronología en América Latina* (pp. 327–334). Mendoza, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo.
- Silva, V. (2012). Estudio dendrocronológico de una población de *Polylepis rugulosa* en los Andes semiáridos de Arica y Parinacota (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Villagra, P. E., Boninsegna, J. A., Alvarez, J. A., Cony, M., Cesca, E., & Villalba, R. (2005). Dendroecology of *Prosopis flexuosa* woodlands in the Monte desert: Implications for their management. *Dendrochronologia*, 22(3), 209–213.
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.05.005>
- Villalba, R. (1985). Xylem Structure and Cambial Activity in *Prosopis fleuosa* DC. *International Association of Wood Anatomists*, 6(2), 118–130.
<https://doi.org/10.1163/22941932-90000923>
- Villalba, R., & Boninsegna, J. A. (1989). Dendrochronological Studies on *Prosopis Flexuosa* DC. *IWA Journal*, 10(2), 155–160. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000483>
- Villalba, R., Villagra, P. E., Boninsegna, J. A., Morales, M. S., & Moyano, V. (2000). Dendroecología y dendroclimatología con especies del género *Prosopis* en Argentina. *Multequina*, 9(2), 1–18.

Vuille, M., Franquist, E., Garreaud, R., Sven, W., Casimiro, L., & Cáceres, B. (2015).

Journal of Geophysical Research : Atmospheres. *Journal of Geophysical Research:*

Atmospheres, 120, 1–30. <https://doi.org/10.1002/2015JD023126>.

VIII. ANEXOS

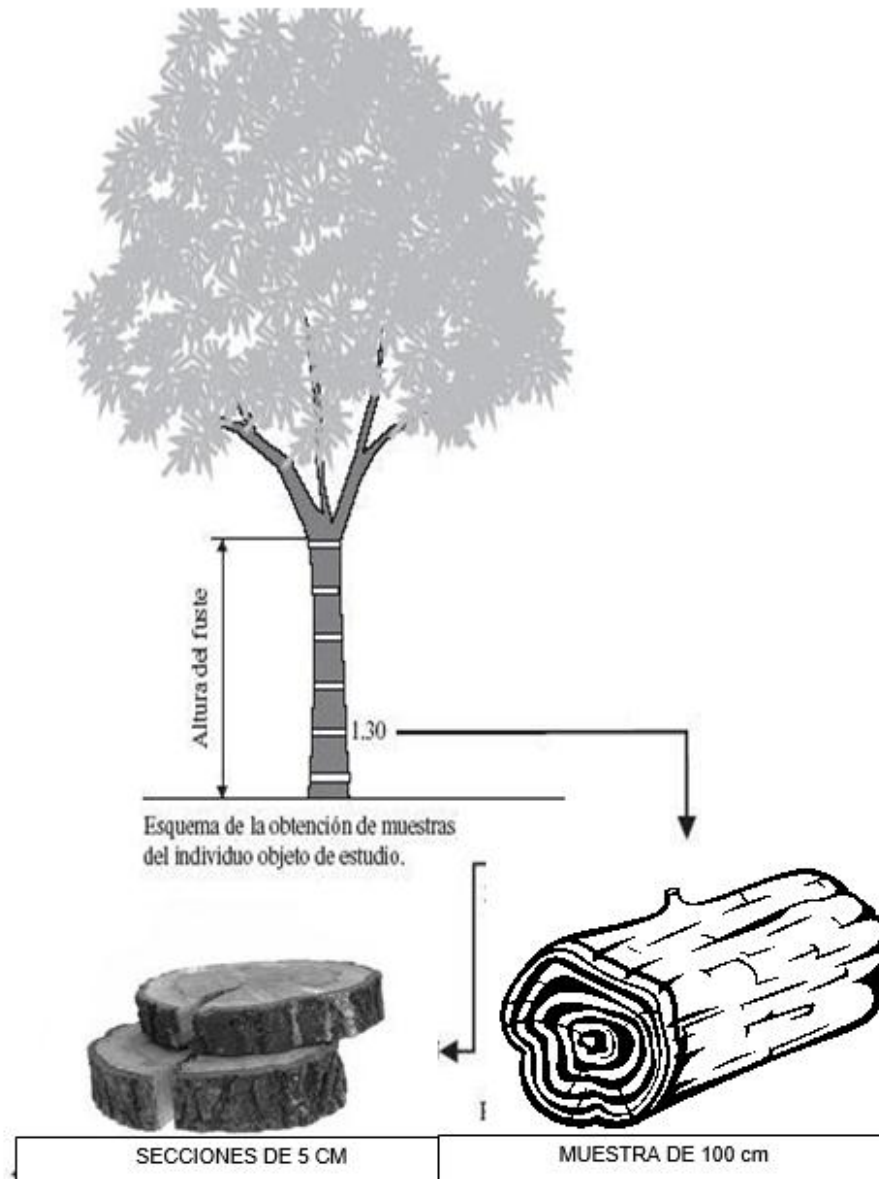


Figura 19: Esquema para la toma de muestras

Tabla 06: Radios empleados y descartados en la elaboración de la colección en Ignacio Távara

Número de árbol	Radios Trazados	Radios descartados	Código del radio	Anillos de crecimiento	Observación
1	4	2	NT01rd1	48	descartado
			NT01rd2	41	empleado
			NT01rd3	38	empleado
			NT01rd4	31	descartado
2	2	1	NT02rd1	36	descartado
			NT02rd2	32	empleado
3	3	2	NT03rd1	35	empleado
			NT03rd2	29	descartado
			NT03rd3	30	descartado
4	3	2	NT04rd1	41	descartado
			NT04rd2	37	descartado
			NT04rd3	34	empleado
5	2	0	NT05rd1	25	empleado
			NT05rd2	22	empleado
6	2	1	NT06rd1	42	empleado
			NT06rd2	42	descartado
7	4	3	NT07rd1	39	descartado
			NT07rd2	31	descartado
			NT07rd3	30	empleado
			NT07rd4	30	descartado
8	3	1	NT08rd1	39	descartado
			NT08rd2	39	empleado
			NT08rd3	36	empleado
9	3	1	NT09rd1	31	empleado
			NT09rd2	29	empleado
			NT09rd3	25	descartado
10	3	2	NT10rd1	43	empleado
			NT10rd2	37	descartado
			NT10rd3	38	descartado
total	29	15			

Tabla 07: Radios empleados y descartados en la elaboración de la colección en La Rinconada

Número de árbol	Radios Trazados	Radios descartados	Código del radio	Anillos de crecimiento	Observación
1	4	3	RI01rd1	36	empleado
			RI01rd2	39	descartado
			RI01rd3	38	descartado
			RI01rd4	42	descartado
2	4	3	RI02rd1	27	descartado
			RI02rd2	35	empleado
			RI02rd3	31	descartado
			RI02rd4	32	descartado
3	3	2	RI03rd1	47	descartado
			RI03rd2	44	empleado
			RI03rd3	41	descartado
4	4	3	RI04rd1	47	descartado
			RI04rd2	49	descartado
			RI04rd3	53	descartado
			RI04rd4	54	empleado
5	3	2	RI05rd1	42	descartado
			RI05rd2	39	empleado
			RI05rd3	47	descartado
6	4	3	RI06rd1	40	empleado
			RI06rd2	45	descartado
			RI06rd3	39	descartado
			RI06rd4	42	descartado
7	3	2	RI07rd1	48	empleado
			RI07rd2	51	descartado
			RI07rd3	45	descartado
8	3	2	RI08rd1	40	descartado
			RI08rd2	34	descartado
			RI08rd3	46	empleado
9	4	3	RI09rd1	40	empleado
			RI09rd2	33	descartado
			RI09rd3	37	descartado
			RI09rd4	36	descartado

Número de árbol	Radios Trazados	Radios descartados	Código del radio	Anillos de crecimiento	Observación
10	3	2	RI10rd1	53	descartado
			RI10rd2	52	empleado
			RI10rd3	55	descartado
total	35	25			

Tabla 08: Radios empleados y descartados en la elaboración de la colección en Piura

Número de árbol	Radios Trazados	Radios descartados	Código del radio	Anillos de crecimiento	Observación
1	4	4	UD01rd1	20	descartado
			UD01rd2	19	descartado
			UD01rd3	18	descartado
			UD01rd4	21	descartado
2	3	2	UD02rd1	41	empleado
			UD02rd2	27	descartado
			UD02rd3	26	descartado
3	4	3	UD03rd1	37	empleado
			UD03rd2	27	descartado
			UD03rd3	30	descartado
			UD03rd4	31	descartado
4	4	3	UD04rd1	52	empleado
			UD04rd2	49	descartado
			UD04rd3	48	descartado
			UD04rd4	31	descartado
5	4	3	UD05rd1	29	empleado
			UD05rd2	26	descartado
			UD05rd3	27	descartado
			UD05rd4	24	descartado
6	4	3	UD06rd1	35	descartado
			UD06rd2	32	descartado
			UD06rd3	31	empleado
			UD06rd4	31	descartado

Número de árbol	Radios Trazados	Radios descartados	Código del radio	Anillos de crecimiento	Observación
7	4	3	UD07rd1	49	empleado
			UD07rd2	42	descartado
			UD07rd3	40	descartado
			UD07rd4	34	descartado
8	3	3	UD08rd1	65	descartado
			UD08rd2	55	descartado
			UD08rd3	51	descartado
9	4	3	UD09rd1	48	empleado
			UD09rd2	32	descartado
			UD09rd3	34	descartado
			UD09rd4	33	descartado
10	3	2	UD10rd1	41	empleado
			UD10rd2	36	descartado
			UD10rd3	36	descartado
11	3	2	UD11rd1	33	empleado
			UD11rd2	25	descartado
			UD11rd3	30	descartado
12	4	3	UD12rd1	32	empleado
			UD12rd2	27	descartado
			UD12rd3	31	descartado
			UD12rd4	29	descartado
13	3	2	UD13rd1	31	descartado
			UD13rd2	31	descartado
			UD13rd3	31	empleado
total	47	36			

Tabla 09: Radios seleccionados para formar la colección de Ignacio Távara

Código	Coef. Corr.	N° anillos eliminados	N° anillos insertados	N° anillos	Inicio	Fin
NT01rd2	0,77	1	1	40	1970	2009
NT01rd3	0,77	1	1	37	1976	2012
NT02rd2	0,52	1	2	32	1979	2010
NT03rd1	0,59	2	1	33	1981	2013
NT04rd3	0,72	0	0	33	1981	2013
NT05rd1	0,66	1	0	23	1991	2013
NT05rd2	0,71	0	1	22	1992	2013
NT06rd1	0,56	1	2	42	1973	2014
NT07rd3	0,26	1	1	30	1982	2011
NT08rd2	0,6	1	1	38	1976	2013
NT08rd3	0,69	2	2	35	1977	2011
NT09rd1	0,64	1	1	30	1984	2013
NT09rd2	0,69	1	2	30	1984	2013
NT10rd1	0,45	1	1	42	1972	2013
total		14	16			

Tabla 10: Radios seleccionados para formar la colección de La Rinconada

Código	Coef. Corr.	N° anillos eliminados	N° anillos insertados	N° anillos	Inicio	Fin
RI01rd1	0,73	2	1	35	1978	2012
RI02rd2	0,72	1	2	36	1976	2011
RI03rd2	0,58	2	0	42	1973	2014
RI04rd4	0,49	6	1	49	1965	2013
RI05rd2	0,7	1	2	40	1972	2011
RI06rd1	0,58	3	1	38	1977	2014
RI07rd1	0,68	2	3	49	1966	2014
RI08rd3	0,55	2	2	46	1966	2011
RI09rd1	0,51	2	3	41	1974	2014
RI10rd2	0,5	3	2	51	1963	2013
total		24	17			

Tabla 11: Radios seleccionados para formar la colección de Piura

Código	Coef. Corr.	N° anillos eliminados	N° anillos insertados	N° anillos	Inicio	Fin
UD02rd1	0,7	4	0	37	1978	2014
UD03rd1	0,46	3	0	34	1978	2011
UD04rd1	0,64	3	1	50	1965	2014
UD05rd1	0,6	1	2	30	1983	2012
UD06rd3	0,55	1	2	32	1979	2010
UD07rd1	0,56	2	3	50	1964	2013
UD09rd1	0,62	3	0	45	1968	2012
UD10rd1	0,69	4	0	37	1978	2014
UD11rd1	0,47	1	2	34	1981	2014
UD12rd1	0,64	1	2	33	1981	2013
UD13rd3	0,7	1	0	30	1985	2014
total		24	12			

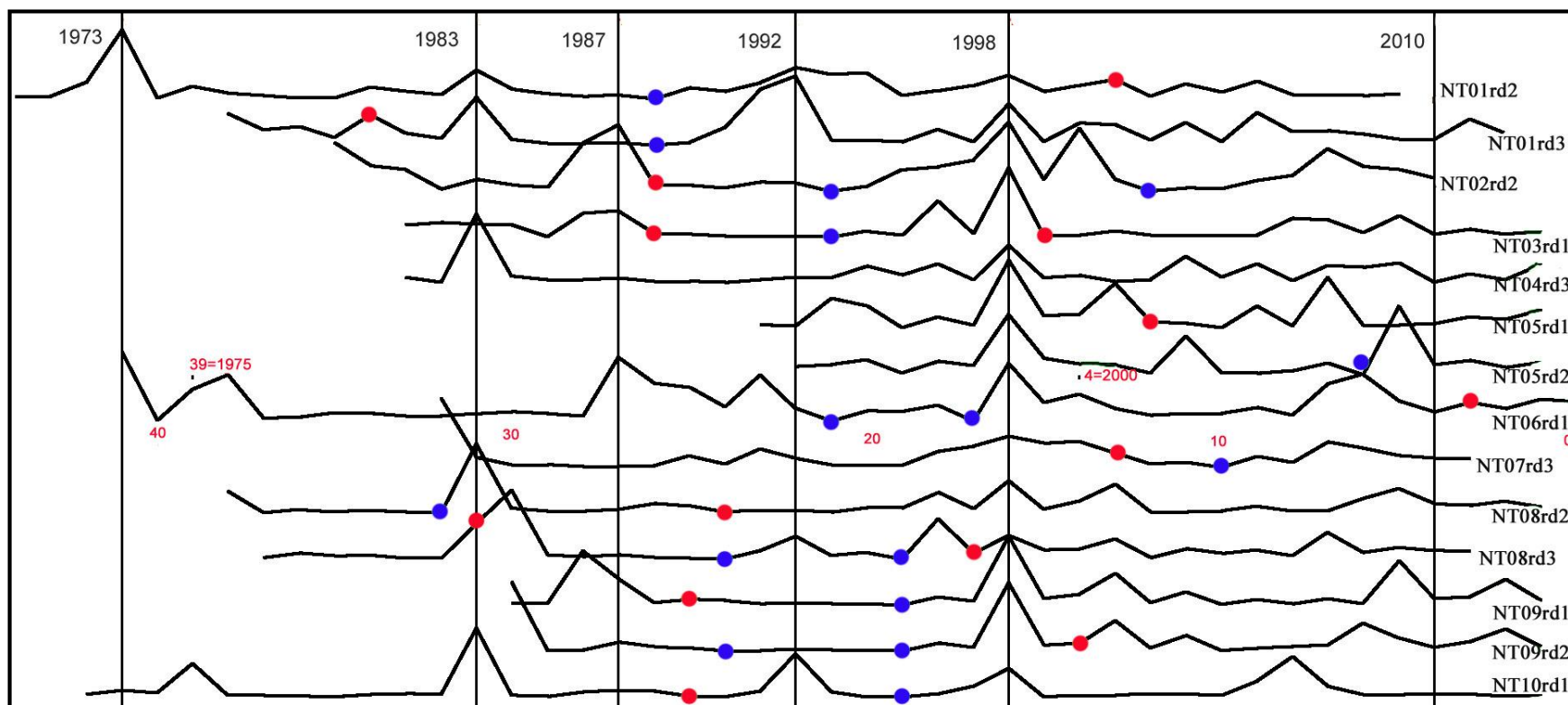


Figura 20: Colección final de Ignacio Távara. Puntos azules indican anillos agregados y los rojos indican anillos eliminados. Líneas verticales representan Eventos El Niño

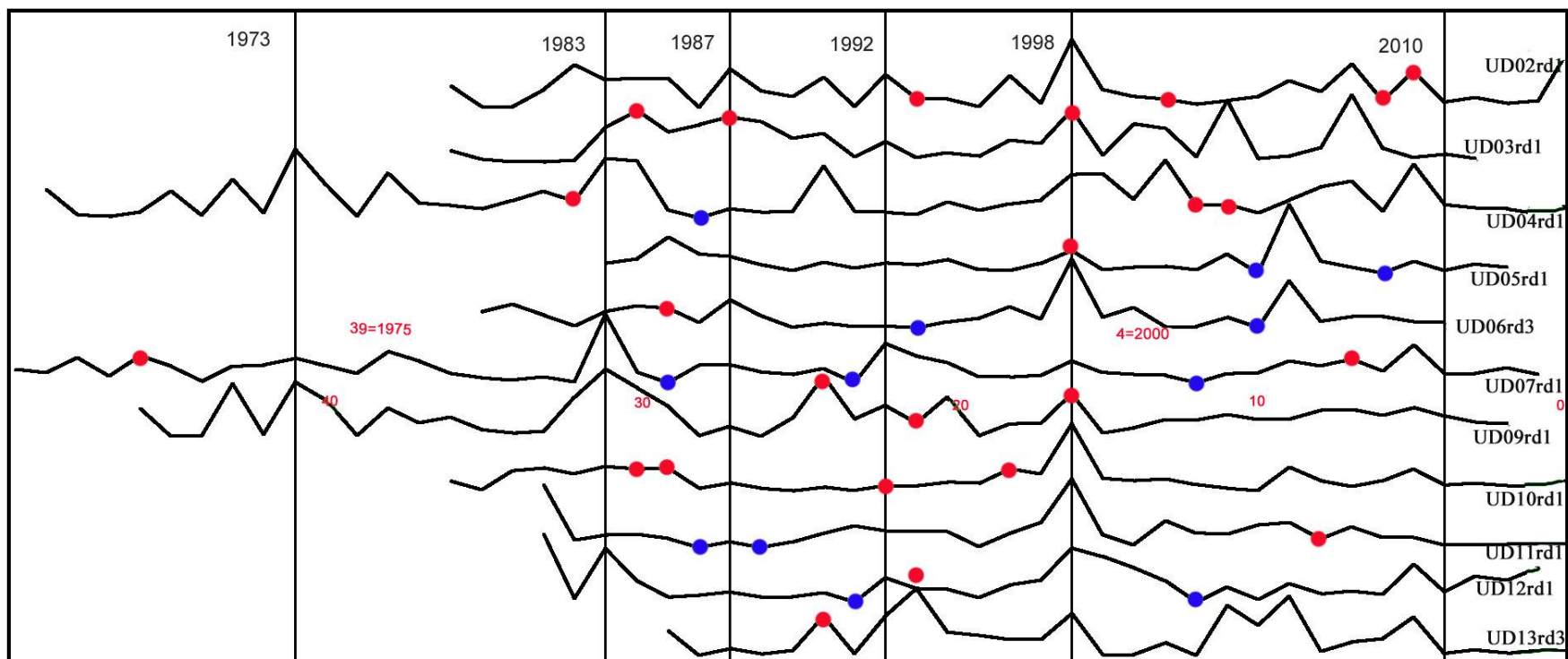


Figura 21: Colección final de Piura. Puntos azules indican anillos agregados y los rojos indican anillos eliminados. Líneas verticales representan Eventos El Niño

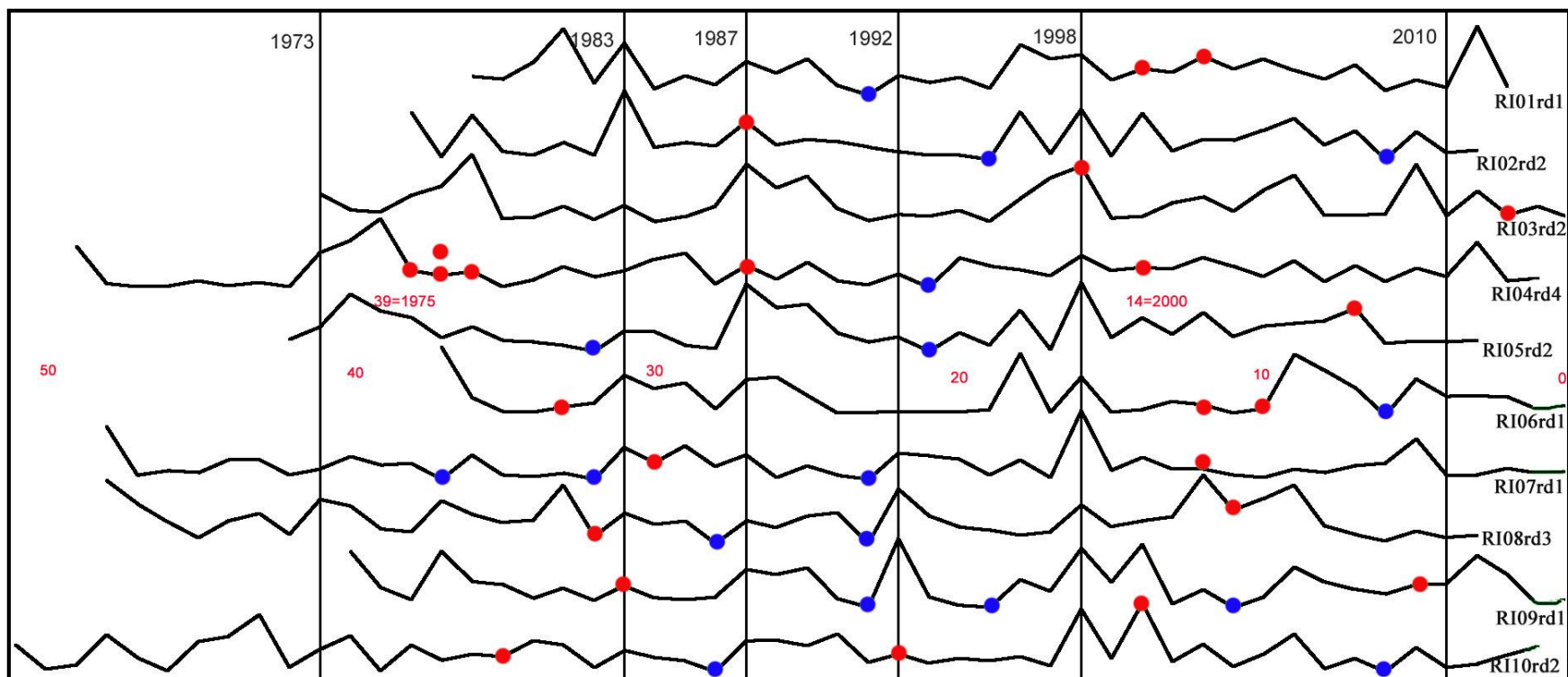


Figura 22: Colección final de La Rinconada. Puntos azules indican anillos agregados y los rojos indican anillos eliminados. Líneas verticales representan Eventos El Niño

